

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE  
N° : .....



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE  
FILIERE : ELECTRONIQUE  
OPTION : MICROELECTRONIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par:**

**BEKHTI Assma**

**BENHALIMA Bouchra**

**Intitulé**

**Capteur de pression à cristaux photonique 2D - Etude  
de cas**

**Soutenu devant le jury composé de:**

Prof. HOCINI Abdesselam.	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. ZOUACHE Tarek.	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. HARHOUZ Ahlem	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2022 / 2023**

# REMERCIEMENT

Ce travail n'aurait pas été achevé sans la Bonne Volonté d'Allah Tout-Puissant, qui nous a donné patience, courage et facilitation.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et respect à notre encadreur **M. ZOUACHE TAREK** pour son soutien, ses conseils et ses critiques positives à notre égard

Nous exprimons notre reconnaissance aux membres de jury pour bien vouloir Accepter de présider et examiner ce travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous, nos enseignants durant les Années des études.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

## Dédicaces

A ma très chère mère Bahdja,

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père Messaoud,

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes belles sœurs Nassima, Meriem, Imane, Issra et mes très chers frères Fakani, Moustafa Ilyas, Nouredine et mon fiancé Mohammed Puisse Dieu vous donne vous garde en bonne santé et heureux.

A mes bourgeons les plus doux Adem, Loujain, Tassnim, Aya, Farouk, Sojoud, Ahmed, Imad, Rayan et Ratil Qu'Allah vous protège et vous soutienne.

A mes amis proches Bouchra, Ahlam, Sarra, Nesrine, Imane, Meriem et Ikram qui ont partagé avec moi tous les moments D'émotion lors de la réalisation de ce travail. Elles m'ont chaleureusement supporté et encouragé Tout au long de mon parcours.

**ASSMA**

## Dédicaces

A l'aide de dieu tout puissant , qui ma tracé le chemin de vie , j'ai pu réaliser ce travail qui je dédie aux personnes les plus chères au monde mes chers parents

A la lumière de mes yeux, le bonheur de ma chère mère FATMA ma apporté son appui durant toutes mes années d'étude pour son sacrifice et soutien qui m'nt donné , confiance , courage et sécurité.

A mon cher père TAHA qui ma appris les sens de la persévérance tout au long de mes études ,pour son sacrifice ses conseils et ses encouragements ,je ne cesserais jamais de remercier mon dieu pour m'avoir donné un père comme toi ,puisse Dieu te protéger inchallah .

A mes très chères Frèresainsi : Saad El Dine , Ilyes .

A mes chères sœurs : Sarra , Linda ,Fatima El Zahra , Chahinez .

A mes bourgeons les plus merveilleux : Amani , Doaa , Wisal ,Mayar Yassin ,Akram , Abd El Basset .

A mes âmes sœurs et compagnes sur mon chemin A ceux qui ont participé à ma carrière et se sont occupés de moi dans mon parcours universitaire à mes bien-aimés :Assma , Ahlam , Sarra , Nesrine, Iman, Meriem ,Ikram .

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à finaliser ce travail . Je vous dis merci .

**BOUCHRA**

## Liste des figures

### Chapitre I : Généralités sut les cristaux photonique.

**Figure I.01:** Représentation schématique de cristaux photoniques unidimensionnels (1D), Bidimensionnel (2D) et tridimensionnel (3D)

**Figure I.02 :** Cristaux photoniques naturels:(a) Plume de paon, (b) Papillon Morphe (c) Bracelet monté d'une opale naturelle quasi-périodique de silice

**Figure I.03:** Schéma d'un miroir de Bragg constitué d'un milieu diélectrique Périodique fini

**Figure I.04:** Structures bidimensionnelles: (a) connectée (b) déconnectée

**Figure I.05.a:** réseau carré

**Figure I.05.b:** réseau triangulaire

**Figure I.05.c :** La structure graphite

**Figure I.05.d :** la structure nitrure de Bore

**Figure I.06:** La première structure BIP3D : la yablonovitch

**Figure I.07:** Période d'un cristal photonique unidimensionnel

**Figure I.08 :** Transmission d'un cristal photonique hexagonal de tiges diélectriques avec ou sans défaut lacunaire. Le peak de transmission correspond au mode résonant de la cavité introduite avec le défaut

**Figure 1.09 :** Défauts ponctuels : (a)Défaut lacunaire, (b) et (c)Défauts de substitutions

**Figure I.10 :** Exemples de défauts linéaires dans un cristal photonique 2D créés (a) en Omettant une seule rangée de motifs, (b) en modifiant l'indice de réfraction d'une seule rangée de motifs,(c) en variant le rayon d'une seule rangée de motifs de la structure

**Figure I.11:**Cavité hexagonale

**Figure I.12 :** Exemple de cavité carrée dans un cristal photonique carré avec un paramètre de maille 600nm

**Figure I.13:** Exemple de cavité triangulaire dans un cristal photonique triangulaire avec un Paramètre de maille 600nm

**Figure I.14 :** Exemple de cavité rectangulaire dans un cristal photonique triangulaire avec un Paramètre de maille 560nm

**Figure I.15:** Représentation réelle d'un guide d'onde de largeur  $W$  à base d'un CP2D

**Figure I.16:** Exemple de guides d'ondes dans un cristal photonique hexagonal

**Figure I.17:** Virage réalisé dans un cristal photonique bidimensionnel

**Figure I.18 :** Impact de la largeur du défaut linéique sur le diagramme dispersion d'un cristal photonique à réseau hexagonal en orientation  $\Gamma$  K

- a- Cristal photonique sans défaut.
- b- Cristal photonique avec guide d'onde  $W_3$ .
- c- Cristal photonique avec guide d'onde  $W_5$

## **Chapitre II :Généralité sur les capteurs**

**Figure II.01:** Définition d'un capteur

**Figure II.02:** structure d'un capteur

**Figure II.03:** Etalonnage d'un capteur

**Figure II.04 :** Réponse non linéaire d'un capteur à semi-conducteur

**Figure II.05:** Schéma synoptique d'un capteur de pression

**Figure II .06 :** Schéma en coupe de la structure d'un capteur de pression capacitif

**Figure : II.07 :** Capteur résistif

**Figure : II.08 :** Disposition de la structure du capteur constituée d'un réseau carré De tige de Si dans l'air avec  $a = 450$  nm et  $r = 0,2a$

**Figure II.09 :** réponse de capteur pour différentes pression de 0 à 10 GPa

**Figure II.10 :** Le capteur de pression conçu

**Figure II.11 :** Transmittance pour différentes pressions appliquées dans la gamme 0–10 GPa

**Figure II.12 :** La disposition de la structure du capteur se compose de lignes couple de guide d'ondes dirigé vers la nano cavité.

**Figure II.13 :** Déplacement des spectres de sortie (pour 1nm à 10nm) en fonction de la Pression appliquée

**Figure II.14:** Variation de la fréquence des impulsions de sortie de sortie en fonction De la pression

**Figure II.15 :** diagramme schématique du capteur 2D-PhC

**Figure II.16 :** Partie d'accouplement agrandie des cas (a) et (b).

**Figure II.17 :** Spectre de transmission pour différentes pressions appliquées.

**Figure II.18 :** Relation linéaire entre la longueur d'onde de résonance et une pression dans plage de 0 à 2Gpa.

**Figure II.19 :** Spectre de transmission pour différentes pressions appliquées.

**Figure II.20 :** Relation linéaire entre la longueur d'onde de résonance et pression dans la plage de 0 à 2Gpa

### **Chapitre III: Capteur proposé - résultats et discussions**

**Figure III.01 :** la matrice de trous d'air dans le substrat du InAs proposée

**Figure III.02 :** Diagramme de dispersion des bandes interdites du mode TM

**Figure III.03 :**La structure finale du proposé

**Figure III.04:**Indice de réfraction de L'InAs en fonction de la pression

**Figure III.05 :** Spectre de sortie du capteur pour les pressions appliquées P=0, 1, 2, 3, 4, 5 et 6 Giga pascals respectivement

**Figure III.06 :** Transmission délivrés par le capteur en fonction de la pression appliquée et pour les quatre modes considérés

**Figure III.07:** Courbes des sensibilités SRI et SP en fonction de la pression pour les quatre modes propagatifs existant respectivement de 1 à 4.

**Figure III.08 :** Facteur de qualités correspondant à chaque mode de propagation isolé respectivement du mode 1 au mode 4 .

**Figure III.09 :** Trace de la longueur de résonance en fonction de la pression pour les 4 mode propagatifs respectivement 1,2,3 et 4.

## Liste des tableaux

**Tableau III.01** : Indice de réfraction de L'InAs en fonction de la pression.

**Tableau III.02** : Longueur d'onde de résonances pour chaque pression

**Tableau III.03** : Les transmissions obtenues pour les quatre cas étudiés

**Tableau III.04** : Donne les sensibilités  $S_{RI}$  et  $S_P$  calculés à partir des données du tableau III.02 et des relations données plus haut.

**Tableau III.05** : Les sensibilités maximales atteintes pour chaque cas par le capteur

**Tableau III.06** : Les valeurs de Q obtenue pour les quatre modes propagatifs existant en fonction de la pression

**Tableau III.07** : Les valeurs de Q maximale obtenue pour les quatre modes propagatifs existant en fonction de la pression

## Liste des acronymes :

Dans ce manuscrit nous avons utilisée quelques abréviations dont nous rappelons la signification ci-dessous :

**BIP** : Bande Interdite Photonique.

**CP** : cristal photonique.

**InAs** : Arsineur d'indium

$\Delta$  **sout**: la variation du signal de sorti

$\Delta$ **m**: la variation du mesurande

**S** : Sensibilité

**m**: mesurande

**f**: Facteur de remplissage.

**Q** : Facteur de qualité.

**n** : Indice de réfraction.

**PWE** : plane wave expansion.

**r**: Rayon du cristal photonique.

**TE** : Transverse Electrique.

**TM** : Transverse Magnétique.

$\lambda$ : Longueur d'onde.

**v<sub>i</sub>**: Volume occupé par le matériau de permittivité

$\Lambda$  : Volume de la cellule

**a** : Période du cristal photonique.

$\epsilon$ : Permittivité diélectrique

**1D** : Unidimensionnel.

**2D** : Bidimensionnel.

**3D** : Tridimensionnel.

**$\Gamma$ K** : La direction du réseau réciproque correspond à la direction des premiers voisins du réseau réel.

**GM** : La direction correspond à la direction des seconds voisi

## Sommaire

Liste des figures.....	i
Liste des tableaux.....	i
Liste des acronymes.....	i
Introduction général.....	02

### Chapitre I : Généralités sur les Cristaux Photoniques

I.1- Introduction.....	06
I.2- Généralité sur les cristaux photonique.....	06
I.2.1- historique sur les cristaux photoniques .....	06
I.2.2. Définition de cristaux photonique.....	07
I.2.3- Les cristaux photonique naturel.....	08
I.3- Les différents types de cristaux photonique.....	09
I.3.1- Cristaux photoniques à une dimension (réseau de Bragg).....	09
I.3.2-Cristaux photonique à deux dimensions.....	10
1.3.2.1- Cristaux photoniques connectés ou déconnectés .....	10
a- Les structures dites «connectées».....	10
b- Les structures dites «déconnectées».....	10
1.3.2.2- Différentes familles de cristaux photoniques à deux dimensions.....	11
• Le réseau carré .....	11
• Le réseau triangulaire .....	11
• Le réseau hexagonal.....	12
I.3.3- Cristaux photonique à trois dimensions .....	13
I.4- Analogie électron photon.....	13
I.5- Caractéristiques géométriques et physiques d'un cristal photonique.....	14
I.5.1- Le contraste d'indice $\delta$ .....	14
I.5.2- Les périodes.....	14
I.5.3- Le facteur de remplissage $f$ .....	15
I.6- Les différents types des défauts .....	15
I.6.1- Les défauts ponctuels.....	15

<b>I.6.2- Les défauts linéaires.....</b>	<b>17</b>
<b>I.6.3-Les cavités sen cristaux photoniques.....</b>	<b>17</b>
a) Cavité hexagonale.....	18
b) Cavité carrée.....	18
c) Cavité triangulaire.....	19
d) Cavité rectangulaire.....	19
<b>I.6.4-Le guide d'onde en cristaux photoniques.....</b>	<b>20</b>
a) Guide d'onde linéique.....	20
b) Guide d'onde courbée.....	21
<b>I.6.5-Influence du défaut sur le diagramme de dispersion.....</b>	<b>22</b>
<b>I.7- Conclusion.....</b>	<b>23</b>

## Chapitre II : Généralité sur les capteurs

<b>II.1- Introduction.....</b>	<b>29</b>
<b>II.2- Généralité sur les capteurs.....</b>	<b>29</b>
<b>II.2.1- définition de capteur .....</b>	<b>29</b>
<b>II.2.2- Grandeurs d'influence.....</b>	<b>30</b>
<b>II.2.3- Structure d'un capteur.....</b>	<b>30</b>
<b>II.2.3-1. Le corps d'épreuve.....</b>	<b>30</b>
<b>II.2.3.2- Transducteur (le capteur).....</b>	<b>31</b>
<b>II.2.3.3- Le boîtier.....</b>	<b>31</b>
<b>II.2.4- Caractéristiques des capteurs.....</b>	<b>31</b>
a) Etalonnage.....	31
b) Domaine de linéarité.....	32
c) Sensibilité(s).....	32
d) Temps de réponse ou rapidité.....	33
e) Précision .....	33
f) Fidélité.....	33
g) Répétabilité.....	33
h) Sélectivité .....	34
<b>II.2.5. Différents types de capteurs .....</b>	<b>34</b>
a) Biocapteurs .....	34

b) Capteurs chimique .....	34
c) Capteurs physiques .....	35
II.3- Les capteurs des pressions .....	35
II.3.1- Définition de capteur de pression .....	35
II.3.2- Principe d'un capteur de pression .....	36
II.3.3- Les capteurs de pression différentiels .....	37
a) Capteur De Pression Capacitif.....	37
b) Capteur de pression résistif.....	37
II.3.4- Capteur de pression à base de cristaux photoniques – Principe De la détection.....	38
II.4- Différents exemples d'applications des cristaux photoniques dans le domaine des capteurs de pression .....	39
II.4.1- Les capteurs de pression à base de cristaux photoniques.....	39
II.4.2- Première application.....	39
II.4.2.a- Structure du capteur.....	39
II.4.2.b- Résultat.....	40
II.4.3. Deuxième application.....	41
II.4.3.a- Structure du capteur.....	41
II.4.3.b- Résultat.....	42
II.4.4. Troisième application.....	43
II.4.4.a- Structure du capteur.....	43
II.4.4.b- Résultats.....	44
II.4.5. Quatrième application.....	45
II.4.5.a- Structure du capteur.....	45
II.4.5.b- Résultats.....	48
II.5.Conclusion.....	48

### **Chapitre III: Capteur proposé-Résultats et discussions**

III.1- Introduction.....	52
III.2- Structure de base du capteur.....	52
III.2.1- Structure initiale proposé.....	52
III.2.2- Bande interdite photonique de la structure proposée.....	53

III.2.3- Structure finale du capteur proposé.....	53
III.3- Indice de réfraction pression pour l'InAs.....	54
III.4- Etude de la réponse de la structure proposé en fonction de la pression.....	55
III.4.1- Transmission des signaux optiques de sortie délivrés par le capteur.....	60
III.4.2- Calcul des sensibilités du capteur.....	62
• La sensibilité à la variation de l'indice de réfraction.....	63
• La sensibilité à la variation de pression hydrostatique.....	63
III.4.3- Détermination du facteur de qualité.....	67
III.4.4- Linéarité du capteur.....	70
III .5- Conclusion.....	72
Conclusion générale.....	76

---

# **Introduction Générale**

### Introduction générale

Depuis quelques années, les recherches se sont orientées vers le comportement des photons au lieu des électrons dans le but de contrôler la propagation de la lumière, à fin d'offrir la possibilité d'empêcher ou de permettre cette propagation, dans certaines plages de longueurs d'ondes et dans une ou plusieurs directions. Les travaux des scientifiques Yablonovitch [1] et John [2] ont abouti à la l'invention d'une nouvelle génération de matériaux dite 'les cristaux photoniques'.

On considère souvent que le domaine des cristaux photoniques a démarré en 1987, quand E.Yablonovitch [1] a introduit le concept de matériaux à bandes interdites photoniques dans le but de contrôler la propagation de la lumière. Depuis, un grand nombre d'études sont menées sur l'amélioration et les applications des cristaux photoniques.

Les cristaux photoniques (CPs) sont des nanostructures de matériaux dans lesquels on a créé une alternance périodique de leurs indices de réfraction [3]. Suivant le type de structuration, on distingue des CPs unidimensionnels, bidimensionnels, et même tridimensionnels.

Les CPs sont appelés également matériaux à bandes interdites photoniques (BIPs) ayant la caractéristique fabuleuse d'empêcher la propagation de tout mode électromagnétique dont la longueur d'onde est située dans leurs BIP ; c'est le concept de base de cette technologie. La continuité de cette bande sera brisée en introduisant des défauts ponctuel ou linéaire dans ces structures, ce qui entraîne la localisation de la lumière propagée dans la région du défaut.

Les applications potentielles des BIP 2D sont différentes et multiples et entre autre on trouve, la réalisation de cavités résonantes de taille très réduite, de guides d'ondes, de virages, de filtres très sélectifs, de multiplexeurs - démultiplexeurs et de fibres optiques. En effet, ces matériaux ont donné jour à de nouveaux composants optoélectroniques plus performants et compacts à comparer aux composant classiques que nous connaissons actuellement.

La réalisation de cavités par l'inclusion de défauts ponctuels dans un cristal photonique, ne sont apparues qu'en 1998 et les excellentes propriétés de réflexion de lumières dans ce cristal, permettent d'avoir des facteurs de qualités élevés pour les modes résonants créés par ces défauts dans sa BIP [2]. Se sont ces modes résonants qui représentent le point de départ de l'utilisation des PhCs dans les domaines ; de la détection, de la mesure et de la capture des grandeurs physiques connues. En effet, de nos jours les capteurs les plus performants qu'ont trouve sur le marché quelque soit leurs types utilisent au moins une cavité résonante implanté dans une structure à cristaux photoniques. Ces dernières sont à la base de réalisation de

capteurs à usage domestique comme les capteurs biologiques, les capteurs mécaniques, les capteurs chimiques et/ou de gaz ou à usage spécial comme dans les domaines militaires ou spatiaux.

La pression est l'une des grandeurs physiques les plus importantes et nécessite d'être contrôlées dans la vie quotidienne. La mesure de pression peut dans certains cas être vitales si on parle par exemple d'environnement aquatique, ou spatial et pour cette raison sa mesure avec précision été toujours un souci pour la technologie. L'apparition des cristaux photoniques a résolu ce problème et on trouve maintenant des capteurs de pression très précis et à temps de réponse très faible puisque qu'ils utilisent les propriétés fantastiques de la lumière (ce dernier élément ne dépendra maintenant que de l'électronique associée à la structure à PhCs).

La mesure exacte de la pression (quelques soit son ordre de grandeurs) dépend principalement de la sensibilité du capteur. Cette propriétés (la sensibilité) est très importante et constitue de nos jours un domaine de recherche parmi les plus compétitifs. Différentes publication sont étés menés dans ce domaine et ayants tous comme but d'améliorer son ordre de grandeur et par conséquent la limite de détection des capteurs de pression à base de cristaux photoniques.

Le but essentiel de notre travail est l'étude et la concevoir d'un capteur de pression à cristaux photonique 2D utilisant le semi-conducteur Arsenure d'indium (InAs) comme matériaux de base a l'aide du logiciel RSOFT CAD.

Le travail présenté dans ce mémoire sera étalé dans trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons présenter un rappel sur les cristaux photoniques, leurs différents types, leurs caractéristiques, et les principaux défauts utilisés en littérature des cristaux photoniques seront également exposés.

Le deuxième chapitre sera consacré à des généralités sur les capteurs et dans ce contexte, nous allons donnés les caractéristiques générales communes aux différents capteurs. Puis nous allons donner les différents types de capteurs, leurs structures et leurs principes de fonctionnement. En fin, nous allons abordés précisément les capteurs de pression et en particulier ceux à base de cristaux photoniques.

Dans le troisième chapitre nous allons proposer une structure à cristaux photoniques à base du semi-conducteur InAs, qu'on utilisera à la suite pour la conception d'un capteur de pression de haute sensibilité

Nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale qui résumera l'essentiel des résultats obtenus et des perspectives.

[1] E. YABLONOVITCH., Physical Review Letters, 58(20), 20592062 (1987).

[2] S. JOHN., Physical ReviewLetters 58, 2059 (1987).

[3] E. Yablonovitch, « Photonic band-gap crystals », J. Phys : Condensed Matter, Vol 5 N°16, pp. 2443-2460, 1993.

---

# **Chapitre I : Généralités sur les Cristaux Photoniques**

### I.1- Introduction:

Les cristaux photoniques ou matériaux à bandes interdites photoniques (BIP) ont suscité un très grand intérêt depuis leur invention par Eli Yablonovitch [1] et S. John[2]. Ces matériaux présentent une modulation périodique de la permittivité diélectrique qui peut être à une, deux ou trois dimensions. Cette variation périodique de l'indice optique suivant les trois directions de l'espace entraîne l'apparition de gamme de fréquences pour laquelle la lumière ne peut plus se propager [3]. Cela en fait des réflecteurs efficaces. Les progrès récemment accomplis sur les micro guides, les microcavités et les micro lasers à cristal photonique sont impressionnants et porteurs d'espoir à la fois pour les applications et les recherches fondamentales.

L'objectif de ce premier chapitre est de présenter les concepts de base et la théorie Fondamentale des cristaux photoniques et d'introduire les cristaux photoniques Bidimensionnels qui nous intéressent dans notre travail. Tout d'abord, nous donnerons Quelques définitions sur les cristaux photoniques, Nous verrons les différents types de Réseaux, la forme du motif élémentaire et les différents types de défauts.

### I.2- Généralité sur les cristaux photonique:

#### I.2.1- Historique sur les cristaux photoniques:

Le terme « cristal photonique » a été utilisé pour la première fois il y a plus de 100 ans, les Premières hypothèses sur la possibilité de contrôler la propagation de la lumière utilisant des Structures périodiques se rapportent à 1887 avec les travaux de Lord Rayleigh. Le domaine des cristaux photoniques a démarré en 1987, quand Eli Yabonovitch et Saier John Ont introduit séparément et dans des contextes différents, le concept de matériaux à bande Interdite.

En 1991, A.Genack et al [4] ont montré expérimentalement l'existence de l'effet de Localisation de la lumière dans les structures périodiques. En même temps , Yablonovitch avait Démonstré la première bande interdite photonique 3D dans la région des micro-ondes.

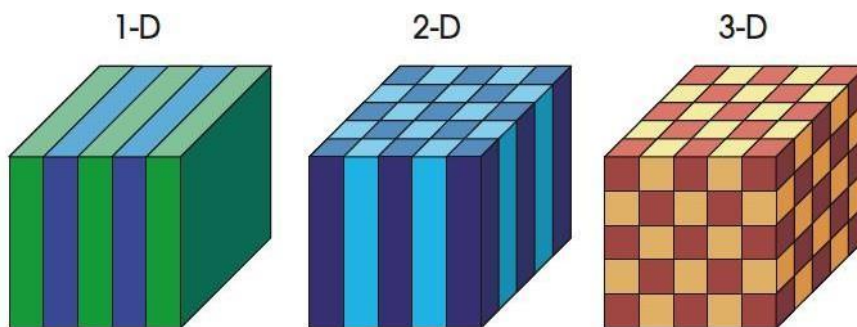
En1996, Thomas Krauss fit la première démonstration du cristal photonique 2D à la longueur D'onde optique [5].

En 2000, le premier cristal photonique tridimensionnel avec une bande interdite photonique Complète dans le domaine infrarouge proche a été obtenu [6].

Au cours des dernières années, la recherche dans le domaine des cristaux photoniques a connu une expansion extraordinaire et a couvert presque toutes les disciplines scientifiques en réalisant des progrès sans précédent

### I.2.2. Définition de cristaux photonique:

Les cristaux photoniques sont des matériaux dont l'indice diélectrique varie de manière périodique à l'échelle de la longueur d'onde, sur une ou plusieurs directions de l'espace. La périodicité peut être unidimensionnelle 1D (miroir de Bragg), bidimensionnelle 2D ou encore tridimensionnelle 3D (Figure I.01). Cette variation périodique de l'indice optique suivant les différentes directions s'entraîne l'apparition de gammes de fréquence pour la quelle la lumière ne peut alors plus se propager. C'est l'analogie entre la propagation d'une onde électro magnétique dans ces milieux et la propagation des électrons dans un cristal photonique qui a mené à l'appellation de ces bandes de fréquences «Bandes interdites Photoniques». La réalisation d'une périodicité sur toutes les directions de l'espace permet de réfléchir une onde lumineuse quel que soit son angle d'incidence ou sa polarisation [7,8].



**Figure I.01:** Représentation schématique de cristaux photoniques unidimensionnels (1D), Bidimensionnel (2D) et tridimensionnel (3D) [9]

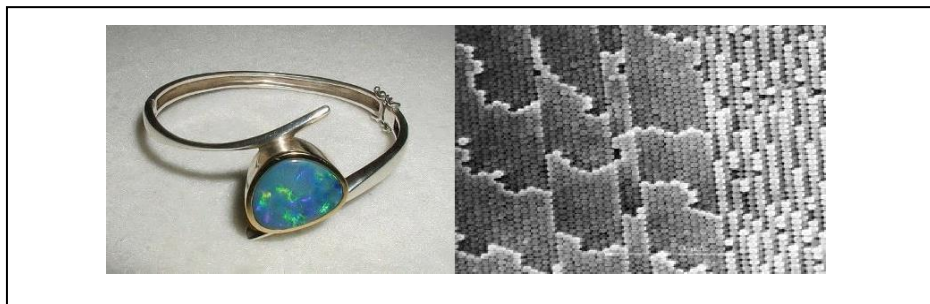
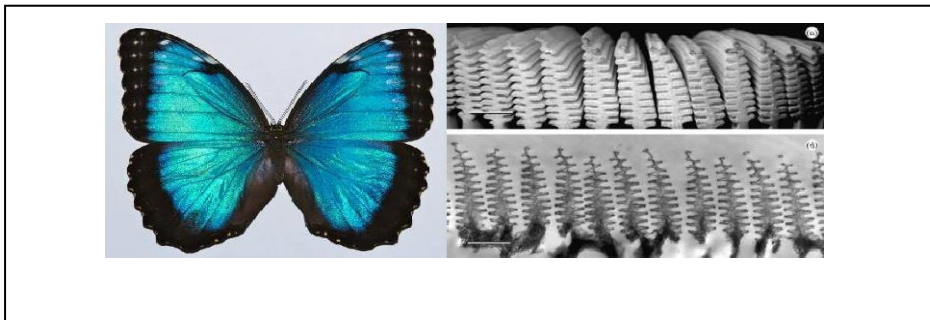
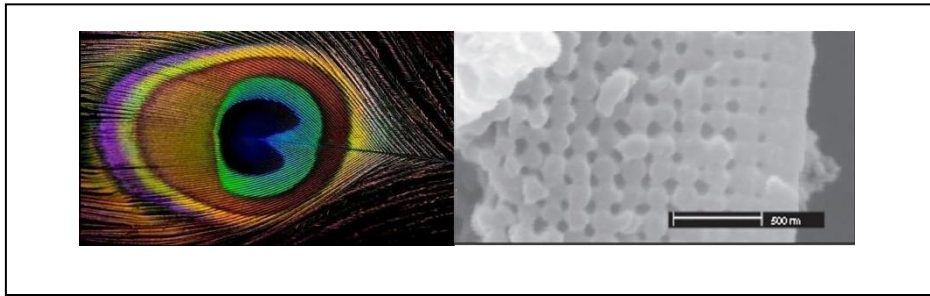
Ces structures peuvent être obtenues par un arrangement périodique de deux matériaux Différents. Leur forme la plus simple est une structure périodique à une

dimension composée D'un empilement de couches également appelé «miroir de Bragg». La généralisation de ce Concept peut être étendu en deux et à trois dimensions. Autrement dit, ces matériaux ont la Capacité d'inhiber la propagation de la lumière dans certaines directions pour une gamme de Fréquences bien déterminée appelée : la bande interdite photonique (BIP). Cette particularité Optique intervient lors que la longueur de maille du cristal est du même ordre de grandeur que la Longueur d'onde de la lumière dans le milieu. Ce phénomène est dans une certaine mesure Analogue à celui de l'ouverture de bandes interdites électroniques dans des cristaux atomiques de Matériaux semi-conducteurs [10].

La propriété de « gap » ou «bande interdite » a été initialement montrée par Lord Rayleigh en 1887 dans les structures de type miroir de Bragg. La généralisation du concept à Deux et trois dimensions a été initiée en 1987 par Zengerle, Yablonovitch [11] et John [12] dans le But de contrôler l'émission spontanée de la lumière.

### **I.2.3- Les cristaux photoniques naturels :**

Les cristaux photoniques existent également à l'état naturel à l'intérieur de complexes minéraux tels que les opales, et à l'intérieur de systèmes biologiques tels que les yeux de certains céphalopodes sous forme de réseaux périodiques de bâtonnets, les plumes de paon faites de cristaux de kératines ou encore les ailes de certains papillons et insectes. En effet, la nature présente des structures périodiques auto-organisées qui ne possèdent pas un contraste d'indices suffisant : c'est le cas de l'opale minérale naturelle .L'opale est une roche constituée de micro billes de silice réparties selon un arrangement plus ou moins régulier. De fait, c'est un cristal photonique naturel, même si ce lui-ci n'a pas de bande interdite complète.[13]



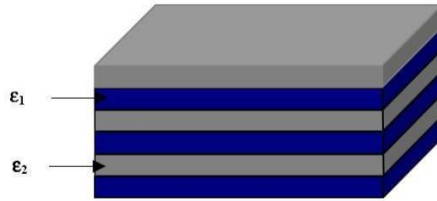
**Figure I.02 :** Cristaux photoniques naturels:(a) Plume de paon, (b) Papillon Morphes (c) Bracelet monté d'une opale naturelle quasi-périodique de silice [14]

### I.3- Les différents types de cristaux photoniques:

#### I.3.1- Cristaux photoniques à une dimension (réseau de Bragg):

Ces structures sont couramment utilisées sous le nom de réseau de Bragg (Figure I.03). Elles sont généralement réalisées par un empilement de couches d'indice de réfraction différent et d'épaisseur optique  $\lambda/4$ ,  $\lambda$  étant la longueur d'onde guidée autour de laquelle le matériau doit interdire la propagation des ondes électromagnétiques sous incidence normale. Les réseaux de Bragg ont prouvé leur utilité dans de nombreuses

applications : convertisseurs de modes pour fibres optiques, filtres sélectifs de longueur d'onde, multiplexeurs, lasers spéciaux à bande étroite [15]



**Figure I.03:** Schéma d'un miroir de Bragg constitué d'un milieu diélectrique Périodique fini [16].

### I.3.2-Cristaux photonique à deux dimensions:

#### I.3.2.1-Cristaux photoniques connectés ou déconnectés :

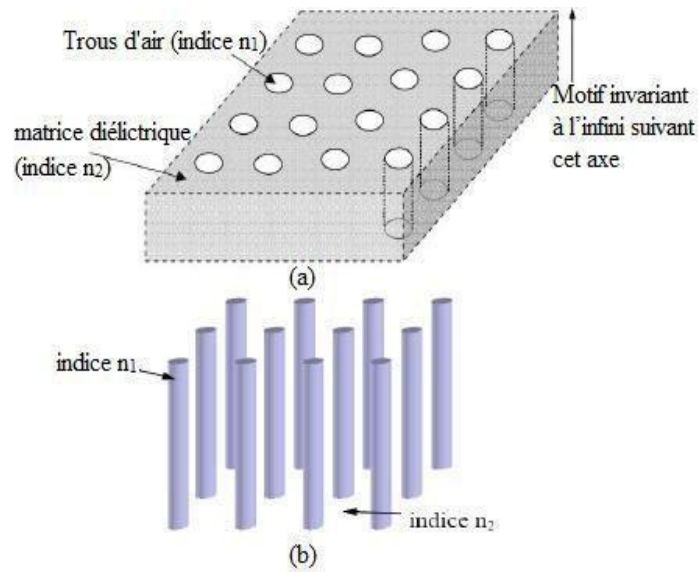
Les structure des matériaux 2D sont des cristaux dont la constante diélectrique est Structurée périodiquement dans les deux dimensions et reste homogène dans la troisième [17].

Il existe deux types de structures périodiques diélectriques:

**c- Les structures dites «connectées»:** les motifs élémentaires sont d'indice  $n_1$  inférieur à l'indice  $n_2$  de la matrice diélectrique (Figure I.04.a).

**d- Les structures dites «déconnectées»:** les motifs élémentaires sont d'indice  $n_1$  supérieur à l'indice  $n_2$  de l'espace inter motifs. Elles sont constituées de tiges diélectriques ou métalliques alignées périodiquement dans l'air (Figure I.04.b).

Il existe structure deux polarisations sont possibles pour les ondes électromagnétiques. La Polarisation électrique (TE) correspond au cas où le champ électrique  $E$  est parallèle aux Motifs de la structure considérée de longueur infinie, et la polarisation magnétique (TM) Lorsque le champ magnétique  $H$  est parallèle aux motifs.



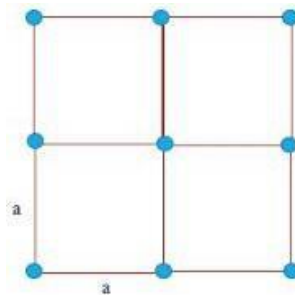
**Figure I.04:** Structures bidimensionnelles: (a) connectée (b) déconnectée [18].

### I.3.2.2-Différentes familles de cristaux photoniques à deux dimensions:

Les réseaux périodiques à deux dimensions se regroupent principalement suivant trois Familles (figure I.05).

- **Le réseau carré :**

Les nœuds du réseau sont situés sur un carré de côté « a » (Figure I.05.a).



**Figure I.05.a:** réseau carré [19]

- **Le réseau triangulaire :**

Chaque nœud du réseau est espacé des on proche voisin D'une même distance «a» (Figure I.05.b)

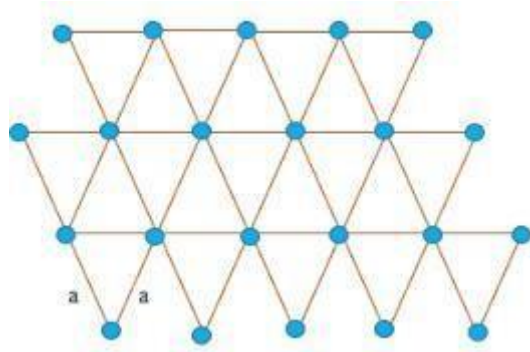


Figure I.05.b: réseau triangulaire [19]

• **Le réseau hexagonal** : Sur un réseau hexagonal, si tous les nœuds sont identiques Et espacés de «a »on a deux structures de réseau hexagonal:

La structure graphite (figure I.05.c) et la structure nitrure de Bore (figure I.05.d)

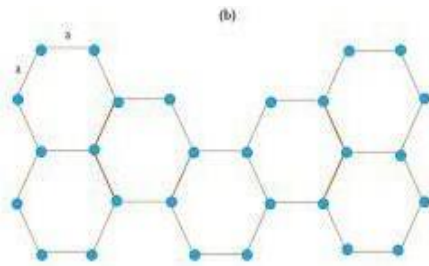


Figure I.05.c : La structure graphite [19]

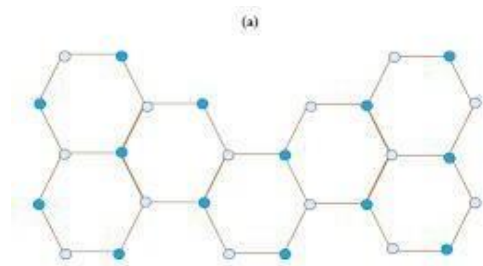
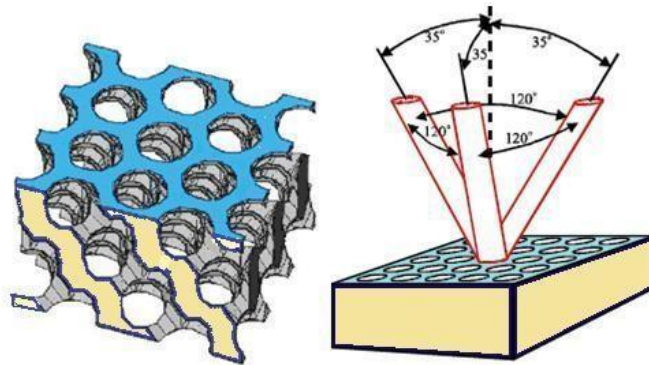


Figure I.05.d : la structure nitrure de Bore [19]

**I.3.3- Cristaux photonique à trois dimensions :**

Les cristaux photoniques tridimensionnels sont des structures dont la permittivité diélectrique est structurée périodiquement dans les trois directions. Elles sont été les deuxièmes à être réalisées par Yablonovitch après les réseaux de Bragg. Son objectif était d’obtenir une bande interdite complète pour toutes les directions de l’espace a fin d’inhiber l’émissions pontanée de la lumière [20].



**Figure I.06:**La première structure BIP3D : la yablonovitch. [20]

**I.4- Analogie électron photon:**

Les équations gouvernant la propagation de la lumière dans un cristal photonique sont les Equations de Maxwell.

$$\nabla \cdot (\epsilon(r) E(r, t)) = 0 \dots\dots\dots\text{I-01}$$

$$\nabla \cdot H(r, t) = 0 \dots\dots\dots\text{I-02}$$

$$\nabla \times E(r, t) = -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} H(r, t) \dots\dots\dots\text{I-03}$$

$$\nabla \times H(r, t) = \epsilon_0 \epsilon(r) \frac{\partial}{\partial t} E(r, t) \dots\dots\dots\text{I-04}$$

Si l'on cherche des solutions à cette équation sous la forme d'ondes harmoniques

$$\nabla \times \left[ \frac{1}{\epsilon(r)} \nabla \times H(r) \right] = \frac{\omega^2}{c^2} H(r) \dots\dots\dots\text{I-05}$$

L'équation (I-5) est l'analogie formelle de l'équation de Schrödinger décrivant le mouvement des électrons dans le potentiel périodique d'un cristal,  $H^{\circ}$  étant l'analogie électromagnétique de la fonction d'onde électronique  $\psi(r)$  et  $\epsilon(r)$  celui du potentiel atomique  $V(r)$  [21].

**I.5. Caractéristiques géométriques et physiques d'un cristal photonique:**

Un cristal photonique est caractérisé par : les différents matériaux qui le composent, le Système cristallin selon lequel ces matériaux sont organisés et les volumes relatifs qu'ils Occupent dans la cellule élémentaire du cristal. Les quantités représentatives de ces différentes Caractéristiques sont :

**1.5.1- Le contraste d'indice  $\delta$ :**

Rapport entre les indices des deux matériaux, qui peut être comparé à la hauteur de la barrière de potentiel de la physique solide [22].

$$\delta = n_h / n_l \dots\dots\dots I-06$$

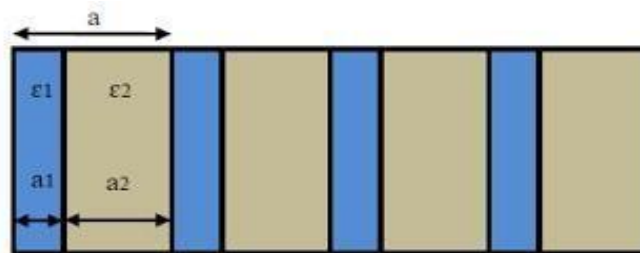
Avec :

$n_h$  : L'indice de réfraction du matériau de haut indice.

$n_l$  : L'indice de réfraction du matériau de bas indice.

**1.5.2- Les périodes:**

Ces paramètres géométriques, choisis selon le domaine de fréquence étudié, influent Sur les caractéristiques de la bande interdite photonique. La période  $a$  est :  $a = (a_1+a_2)$  avec  $a_1$  l'épaisseur de la couche de permittivité  $\epsilon_1$  et  $a_2$  l'épaisseur de la couche de permittivité  $\epsilon_2$  (Figure I.07) [22].



**Figure I.07:** Période d'un cristal photonique unidimensionnel [22].

**1.5.3- Le facteur de remplissage  $f$ :**

Le facteur de remplissage  $f$  peut être comparé au largeur du potentiel périodique de la Physique du solide. S’il est pris pour le matériau de haut indice par exemple, il est défini Comme le rapport entre le volume occupé par ce matériau dans la cellule élémentaire du Cristal et le volume de cellule de cette dernière [22].

$$f = \frac{V^i}{\Lambda} \dots\dots\dots I-07.$$

Avec :

$V^i$  : Volume occupé par le matériau de permittivité  $\epsilon$

$\Lambda$  : Volume de la cellule.

**1.6- Les différents types des défauts:**

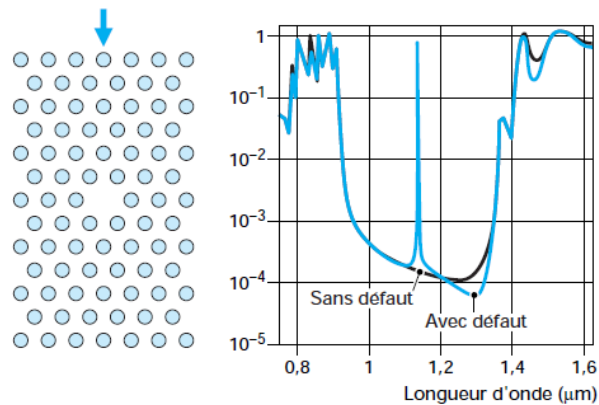
Les défauts dans les cristaux photoniques peuvent localiser des modes. Dans des cristaux 1D, on peut confiner la lumière dans un plan défaut. Dans des cristaux 2D on peut localiser la lumière dans un défaut linéaire. Finalement en 3D, on peut confiner la lumière a un défaut localise, donc en un point du réseau.

Dans le cas d’un réseau de trous, le défaut peut consister en l’absence d’un ou plusieurs trous. Il existe principalement deux types de défauts, les défauts ponctuels (cavités) et les défauts linéaires (guide d’ondes). Il reste néanmoins possible de jouer sur plusieurs paramètres pour obtenir une grande variété de défauts (variation de la taille des trous et de leurs formes par exemple) [23].

**1.6.1- Les défauts ponctuels:**

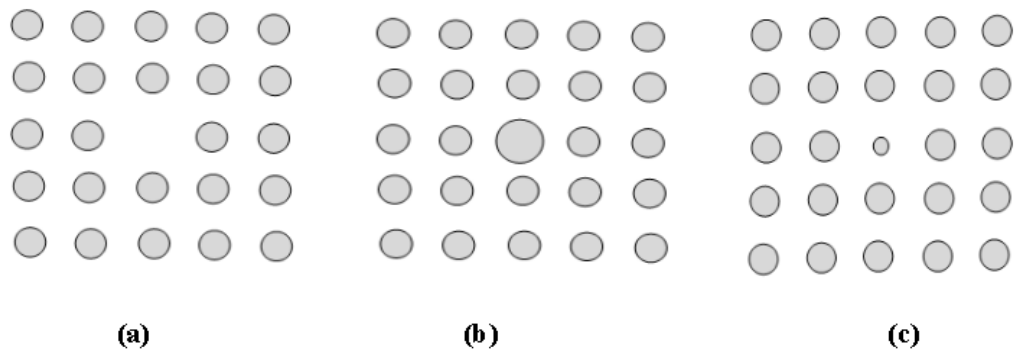
Plusieurs méthodes sont utilisées pour créer des défauts ponctuels dans les cristaux photoniques. On peut ajouter ou à modifier un ou plusieurs motifs du cristal et cela revient a réalisé des défauts lacunaires ou interstitiels appelées cavités. Les cavités optiques ainsi créés introduisent des énergies correspondants à leurs modes de résonance au sein des bandes interdites du cristal.

La figure I.08 présente le spectre de transmission calculé d'un cristal bidimensionnel de géométrie hexagonale et formé de tiges diélectriques muni d'un défaut, créé par une tige manquante dans le réseau. Cette figure donne le spectre de transmission du cristal sans défaut présentant une bande interdite de longueur d'onde comprise entre 0,9 et 1,3  $\mu\text{m}$ . La présence du défaut se traduit par un pic de transmission étroit et unique à 1,1  $\mu\text{m}$ . On a donc affaire, dans ce cas, à une cavité monomode [24].



**Figure I.08 :** Transmission d'un cristal photonique hexagonal de tiges diélectriques avec ou sans défaut lacunaire. Le peak de transmission correspond au mode résonant de la cavité introduite avec le défaut [24]

Il existe de multiples manières de créer des défauts ponctuels dans les cristaux photoniques. On peut aussi procéder au retrait, à l'ajout ou à la modification d'un ou plusieurs motifs du cristal (figure I.09).

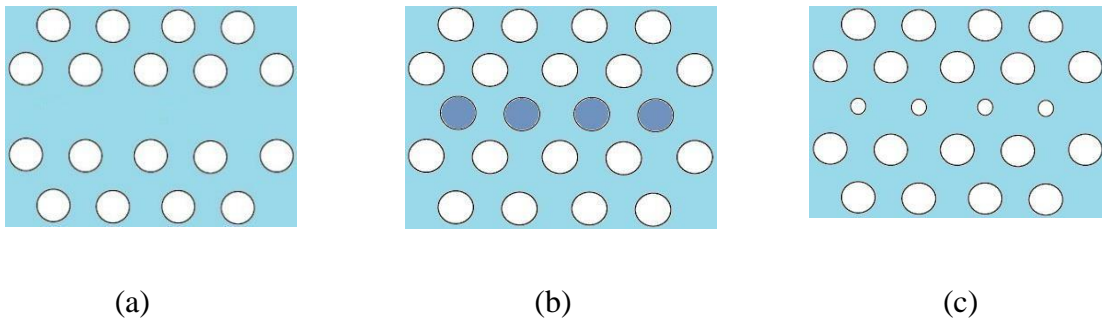


**Figure 1.09- :** Défauts ponctuels : (a)Défaut lacunaire, (b) et (c)Défauts de substitutions [23].

### 1.6.2- Les défauts linéaires:

Les défauts linéaires ou les défauts étendus sont créés dans les cristaux photoniques par la suppression ou la modification d'une ou de plusieurs rangées de motifs (trous ou de tiges), comme il est représenté sur la figure I-10. Au sein de ces défauts, des modes ayant une fréquence appartenant à la bande interdite photonique peuvent exister. Ces défauts peuvent servir de guides d'ondes pour orienter la propagation de la lumière dans une direction choisie.

On appelle  $W_n$  ( $W$  : abréviation de Wave guide) les guides d'ondes à cristaux photoniques, où  $n$  est le nombre de rangées de motifs manquants.



**Figure I-10 :** Exemples de défauts linéaires dans un cristal photonique 2D créés (a) en omettant une seule rangée de motifs, (b) en modifiant l'indice de réfraction d'une seule rangée de motifs, (c) en variant le rayon d'une seule rangée de motifs de la structure.[25]

### 1.6.3- La cavité en cristaux photoniques :

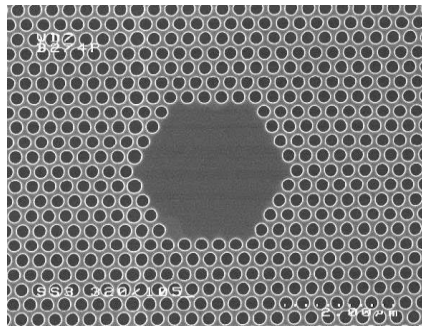
Une cavité optique se définit comme un résonateur électromagnétique où la lumière est confinée spatialement et spectralement. Ces résonateurs fonctionnent comme des « pièges à Photons ». En effet, lorsque la cavité résonne, la lumière effectue un grand nombre d'allers Retours et se retrouve ainsi temporairement bloquée. Deux types de confinement sont mis en Œuvre dans la littérature. Dans un premier cas la lumière est confinée par la réflexion totale interne qui découle des Lois de Snell-Descartes. A l'interface entre deux matériaux et pour un angle d'incidence inférieur A un angle critique fonction de la différence d'indice entre les deux matériaux la lumière est Totalement réfléchi. Cette même approche dérivée de l'optique géométrique permet aussi de Décrire la propagation de la lumière dans un guide d'onde. Des exemples de confinement par Réflexion totale interne sont donnés par les

résonateurs à mode de galeries comme les micros disques, microsphères, micro-tores et micro-anneaux [26].

Il existe plusieurs types de cavités, elles dépendent de la forme de réseau (triangulaire, Hexagonale ou carré), et de nombre de défauts (omission d'un ou plusieurs tiges) ; parmi ces Cavités nous citons :

### a) Cavité hexagonale

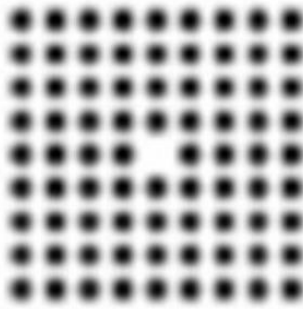
Dans un cristal triangulaire, les cavités hexagonales, dont les côtés sont les rangées denses, constituent une série de cavités canoniques. Il est commode de les nommer par le nombre de périodes le long de chaque côté. Ainsi, un seul trou manquant correspondra à H1, sept trous manquants à H2, etc. (figure I-11). Les cavités de type  $H_n$ , de forme hexagonale, n'étant le nombre de rangées manquantes par côté de l'hexagone sont les plus étudiées [26].



**Figure I.11:**Cavité hexagonale

### b) Cavité carrée :

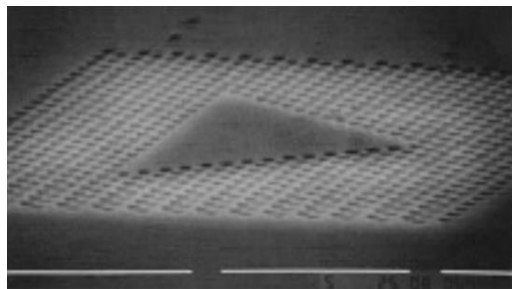
Dans un réseau bidimensionnel carré, les cavités sont de type  $S_n$ , de forme carrée, N'étant le nombre de lignes et de rangés manquantes du carré. Par exemple la cavité S1 est constituée en omettant une ligne et une rangée.



**Figure I.12 :** Exemple de cavité carrée dans un cristal photonique carré avec un paramètre de maille 600nm [26]

### c) Cavité triangulaire:

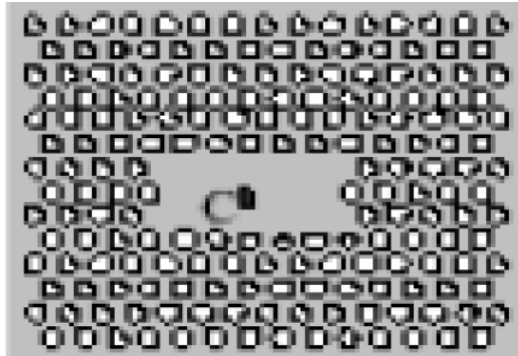
La figure (I-13) représente la cavité triangulaire, cette cavité est obtenue en omettant plusieurs trous dans un réseau triangulaire de trous d'air de section circulaire ( $r = 200\text{nm}$ ) plongé dans une matrice diélectrique ( $\epsilon=8.12$ ).



**Figure I.13:** Exemple de cavité triangulaire dans un cristal photonique triangulaire avec un Paramètre de maille 600nm [26].

### d) Cavité rectangulaire :

Le réseau CP2D triangulaire est défini par les paramètres suivant : paramètre de maille  $A=560\text{nm}$ , La figure (I-14) représente une cavité rectangulaire correspondant à l'omission de 3 rangées finies de trous dans le CP.



**Figure I.14 :** Exemple de cavité rectangulaire dans un cristal photonique triangulaire avec un Paramètre de maille 560nm [26].

#### **1.6.4- Le guide d'onde en cristaux photoniques:**

Le développement d'une optique intégrée à base de cristaux photoniques 2D passe par la conception et la réalisation de guides optiques performants. La première idée des guides d'ondes est apparue en 1994 sous l'impulsion de Joanno poulos, Meade et al, mais les premières réalisations sont été effectuées cinq à six ans plus tard [27].

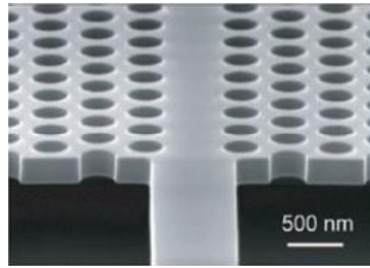
Il existe plusieurs types des guides d'onde , nous citons :

##### **a) Guide d'onde linéique:**

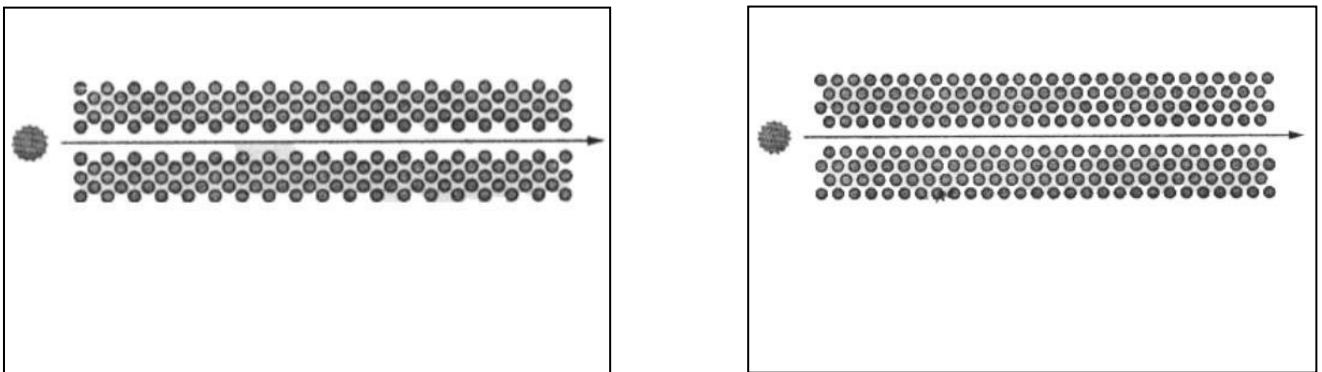
Les guides à cristaux photoniques sont obtenus en créant un défaut linéique dans le cristal. Au sein de ces défauts, des modes ayant une fréquence appartenant à la bande interdite photonique peuvent exister. Pour des cristaux photoniques bidimensionnels, un guide à cristal photonique peut être créé en retirant (ou modifiant) directement une ou plusieurs rangées de motifs du cristal photonique [28]. Les guides formés de l'omission d'une ligne de trous sont appelés W1, ceux de deux lignes de trous W2, etc. ...Deux exemples sont rapportés sur (la Figure I.15) dans le cas d'un cristal 2D hexagonal.

-Le premier exemple (Figure I.16 (a)) représente un défaut obtenu en retirant une rangée de motifs dans la direction  $\Gamma M$ .

-Le deuxième exemple (Figure I.16 (b)) correspond à un défaut obtenu en retirant une rangée de motifs dans la direction  $\Gamma K$ .



**Figure I.15:** Représentation réelle d'un guide d'onde de largeur  $W$  à base d'un CP2D



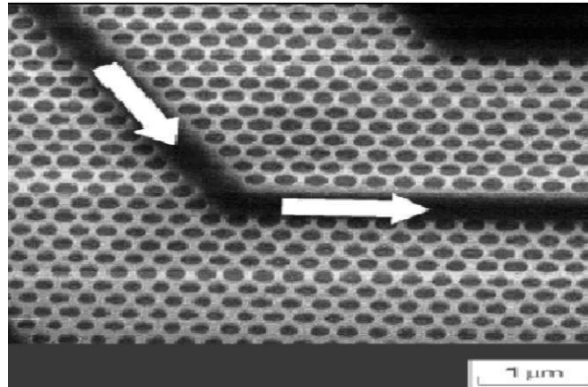
**Figure I.16:** Exemple de guides d'ondes dans un cristal photonique hexagonal

L'enjeu principal de ces guides d'ondes concerne les pertes. Pour les guides larges (plusieurs rangées de trous omises), les pertes sont considérables.

**b) Guide d'onde courbé:**

Les guides courbés constituent également un domaine d'application privilégié des Cristaux photoniques car ils permettent théoriquement de réaliser des virages avec des rayons de courbure de l'ordre de la longueur d'onde (figure I- 17). Dans le guide virage il y a des problèmes de réflexion et les pertes subsistent, ces virages peuvent être réalisés simplement en omettant de graver des trous dans les directions de symétrie du cristal (virages à 60 et 120°). Dans le cas des virages simples à 60°, les meilleurs résultats mesurés ont été des transmissions d'environ 80 à 90 % pour un guide étroit ( $W1$ ) [27].

Le virage peut-être amélioré en ajoutant ou supprimant des trous ou encore en modifiant la topologie du coude.

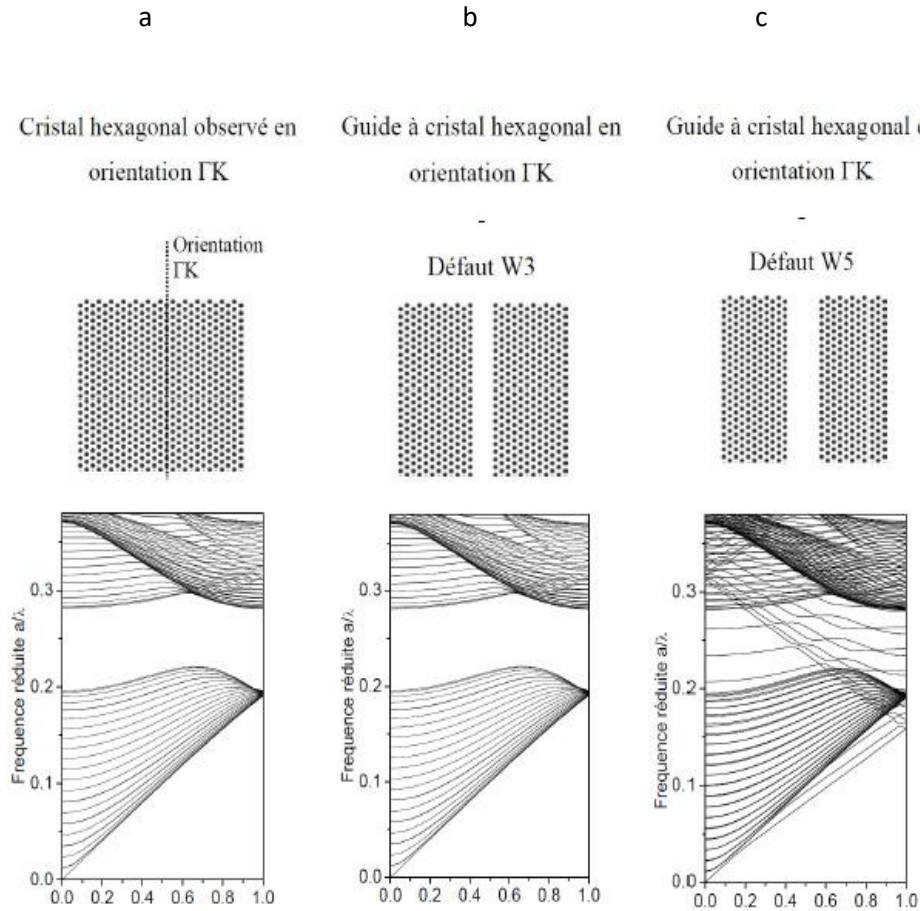


**Figure I.17:** Virage réalisé dans un cristal photonique bidimensionnel [27].

La démonstration expérimentale du guidage dans des virages a été réalisée rapidement, mais des problèmes de réflexion et de pertes subsistent. Dans le cristal photonique hexagonal ou triangulaire, ces virages peuvent être réalisés simplement en omettant de graver des trous dans les directions de symétrie du cristal virage. Dans le cas des virages simples, les meilleurs résultats mesurés sont été des transmissions d'environ 80 à 90 % pour un guide étroit (une rangée de trous omise) et de 78 % pour un guide plus large [28].

### **I.6.5- fluence du défaut sur le diagramme de dispersion :**

L'insertion du défaut dans la structure influe fortement sur le diagramme de dispersion [29]. Un diagramme de bandes en orientation  $\Gamma K$  est tracé pour un cristal photonique à maille triangulaire sans défaut (indice du matériau égal à 3.21 et facteur de remplissage en air égal à 30%) ainsi que pour deux structure à guide de types  $W_3$  et  $W_5$  respectivement (figure 1.17). En comparant ces diagrammes, on constate que les structures avec défauts font apparaître des modes de propagations induit au sein de la bande interdite photonique du cristal parfait. En augmentant les largeurs des défauts on constate que nombre de modes augmente dans le guide (figure 1.18).



**Figure I.18** : Impact de la largeur du défaut linéique sur le diagramme dispersion d'un cristal photonique à réseau hexagonal en orientation  $\Gamma$  K [29].

- a- Cristal photonique sans défaut.
- b- Cristal photonique avec guide d'onde  $W_3$ .
- c- Cristal photonique avec guide d'onde  $W_5$

### I.7- Conclusion:

Un cristal photonique est un matériau artificiel qui présente une périodicité spatiale de la constante diélectrique, dans une, deux ou trois directions de l'espace. Ce nouveau type de matériau est capable de bloquer la propagation des ondes optique dans certaines directions de propagation. Ce premier chapitre été consacré à l'étude des concepts de base des cristaux photoniques. Parmi ces concepts, est leurs possessions de bandes interdites photonique induite par leurs propres architectures. Cette bande interdite est générée par la variation périodique de la constante diélectrique des matériaux constituant ce cristal photonique (à l'échelle de la longueur d'onde) sur une ou plusieurs directions. Cette bande interdite associé à des défauts

de tous types (microcavité, guide d'onde, couplage microcavité-guide d'onde.. etc.) créés volontairement dans la structure périodique originale de ce cristal est à la base de toutes les applications conçus au tours de ce type de structure. D'un autre côté, leurs grande flexibilité les rends très prometteuses pour la réalisation de composants optiques planaires compacts et originaux et plus particulièrement les capteurs optiques.

### Bibliographie

- [1] E. Yablonovitch, Inhibitor in solid state physics and electronics, Phys.Rev. Lett.58, pp. 2059 (1987).
- [2] S. John, Strong localization of photons in certain disordered Dielectric super lattices, Phys. Rev. Lett.58, pp. 2486 (1987).
- [3] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade et J.N. Winn, photonic Crystals: Molding the Flow of Light, Princeton University
- [4] A. Genack and N. Garcia, Observation of Photon localisation in a Three-Dimensional Disordered System, Phys. Rev. Lett., 66 (16), (1991) pp. 2064.
- [5] T.F. Krauss, R.M. De la Rue and S. Brand, Two dimensional photonic band gap Structures operating at near-infrared wavelengths, Nature 383, (1996) pp. 699-702.
- [6] A. Blanco, E.Chomski, S.Grabtchak, et al., Large scalesynthesis of a silicon photonic Crystal with a complete three-dimensional band gap near 1.5 micro metres. (2000) pp.437–440.
- [7]. Abri badaoui Hadjira, «étude et conception des micro- composants a base des cristaux Photoniques bidimensionnels», Thèse de doctorat, université de Tlemcen, 2012.
- [8]. Bougriou Feida, «Etude des guides d’ondes à cristaux photoniques bidimensionnels», Mémoire de Magister, université mentouri Constantine, 2008.
- [9]. Lydie Ferrier «Micro-nanostructures à base de cristaux photoniques pour le contrôle 3D de La lumière », Ecole Centrale de Lyon, 2008.
- [10]. Bouanati Mohammed et Bellaredj Nabil, «conception des filtres à base des cristaux Photoniques bidimensionnels par l’analyse de la BIP : modélisation par la FDTD- 2D», Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, 2013.
- [11]. Yablonovitch E, Phys. Rev. Lett, 58 (1987) 2059.
- [12]. S. John, « Strong Localization of Photons in Certain Disordered Dielectric Super lattices», Phy. Rev. Lett. 58, 2486(1987)

- [13] Abri Badaoui Hadjira ,«Etude Et Conception Des Micro Composants A Base Des Cristaux Photoniques Bidimensionnels» Thèse De Doctorat Université Tlemcen Décembre (2012)
- [14] Barbara Wild, « Etude Expérimentale Des Propriétés Optiques Des Cristaux Photoniques Bidimensionnels Et De Leur Accordabilité », Thèse De Doctorat, Ecole Polytechnique De Lausanne Fédérale, 2006
- [15] Melle. Saidani Asma, « Application des méthodes stochastiques pour L’optimisation des filtres passe-bande à base des cristaux photoniques Unidimensionnels », mémoire master, Université de abou-bakrbelkaïd , tlemcen, 2014.
- [16] Driss Imad-Eddine , « Simulation et optimisation d’un diviseur 1x8 à base De Cristaux photoniques bidimensionnels. Modélisation par la méthode ftdt 2d», Mémoire master , Université de abou-bakrbelkaïd , tlemcen,2014.
- [17] Melle Benaïssa Fatima, « Etude et Simulation de la Propagation des Ondes Electromagnétiques dans les guides à Cristaux Photoniques-Application aux Fibres Optiques» Mémoire de Magister, Université ABOU-BAKR BELKAÏD, Tlemcen, 2013.
- [18] Bougriou Feida «Etude Des Guides D’ondes A Cristaux Photoniques Bidimensionnels», Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 2008
- [19] Mme. ABRI BADAOUI Hadjira, « ÉTUDE ET CONCEPTION DES MICRO COMPOSANTS A BASE DES CRISTAUX PHOTONIQUES BIDIMENSIONNELS », Thèse Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2012.
- [20] Melle Benaïssa Fatima «Etude et Simulation de la Propagation des Ondes Electromagnétiques dans les guides à Cristaux Photoniques-Application aux Fibres Optiques» mémoire de magister, Université de abou-bakrbelkaïd – tlemcen.2013.
- [21] BOUGRIOU Feida, « ETUDE DES GUIDES D’ONDES A CRISTAUX PHOTONIQUES BIDIMENSIONNELS», Mémoire de Magister, Université Mentouri, Constantine, 2008

[22] Melle. Saidani Asma, « Application des méthodes stochastiques pour L'optimisation des filtres passe-bande à base des cristaux photoniques Unidimensionnels », mémoire master, Université de abou-bakrbelkaïd ,tlemcen,2014.

[23] F. BENAÏSSA, «Etude et Simulation de la Propagation des Ondes Electromagnétiques dans Les guides à Cristaux Photoniques-Application aux Fibres Optiques », Thèse de doctorat, Université Abou-Bakrblkaid Tlemcen, 2013.

[24] Guy BOUCHOXTIOZ, Cristaux photoniques et « gaps » de photons -Aspects fondamentaux, Date de publication : 12/09/2014 af3710, Technique de l'ingénieur.

[25] BENDJELLOUL Rahima, « Etude et caractérisation de circuits photoniques à base de Cristaux photoniques de micro piliers : Application aux filtres à base de résonateurs », Thèse de Doctorat, Université de Constantine, juillet 2017.

[26].Benmerkhi Ahlem, «Influence des paramètres géométriques sur la cavité à cristaux Photoniques bidimensionnels », mémoire de Magister, Université de Constantine, 2008.

[27] Bougriou faida «ETUDE DES GUIDES D'ONDES A CRISTAUX PHOTONIQUES BIDIMENSIONNELS» , mémoire de magister, Université de Mentouri constantine, 2008

[28] Yohan DESIERES, « Conception et études optiques de composants micro Photoniques sur matériaux III-V à base de structures à bande interdite de photon », Thèse De doctorat n° 01-0081, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, Décembre 2001.

[29] Ferrand, P. (2001). Structures guidantes à bande interdite photonique à base de silicium nano poreux (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).

---

## **Chapitre II : Généralité sur les capteurs**

### II.1/Introduction :

Dans un grand nombre de domaine, il est nécessaire d'avoir accès à une grandeur physique. Cette connaissance permet de connaître l'état physique d'un système et de pouvoir prendre des décisions quand à la conduite de celui-ci. Les décisions peuvent être automatique c'est à dire prise par un ordinateur ou prise par un opérateur humain via une interface homme machine. Dans les deux cas, l'état physique du système doit être connu sous la forme d'une grandeur électrique : tension ou courant car les systèmes de traitement n'utilise que ces grandeurs. L'opération qui permet de transformer une grandeur physique en une grandeur électrique est réalisée par un capteur [1].

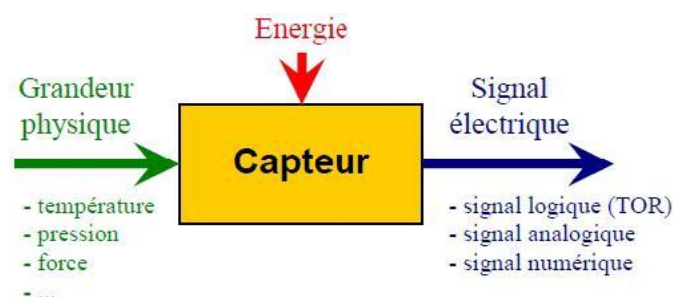
Les capteurs chimiques, physiques et les biocapteurs développés depuis quelques dizaines d'années sont maintenant adoptés et largement utilisés dans tous les domaines de la vie courante (qualité de l'eau et de quelques produits de l'agroalimentaire, analyses biologiques, dépollution,.....). La sensibilité, la sélectivité, la spécificité et la durabilité des capteurs ont toujours été des paramètres essentiels dans leur conception [2].

Dans ce chapitre nous présentons les notions de base sur des capteurs, définition, leurs caractéristiques et les différents types des capteurs.

### II.2/Généralité sur les capteurs :

#### II.2.1. définition de capteur :

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une Grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent Electrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à Des fins de mesure ou de commande. [3]



**Figure II.01:** Définition d'un capteur [4].

### II.2.2. Grandeurs d'influence :

Les grandeurs d'influence sont des grandeurs étrangères qui, selon leur nature et leur importance, peuvent provoquer des perturbations sur le capteur. C'est donc une cause d'erreurs agissant sur le signal de sortie.

La plupart des grandeurs d'influence sont liées à l'environnement du capteur. Citons-en

Particulier :

- la température (c'est la grandeur d'influence la plus répandue et la plus gênante),
- la pression environnante,
- les vibrations mécaniques ou acoustiques, les chocs, le temps,
- la position du capteur et sa fixation,
- l'humidité, la projection d'eau, l'immersion,
- les ambiances corrosives,
- les perturbations électromagnétiques,
- les rayonnements nucléaires,
- les accélérations et la pesanteur,
- l'alimentation électrique du capteur [5]

### II.2.3. Structure d'un capteur :

La structure générale d'un capteur est représenté en Figure II.2 Dans cette structure on trouve [6].

#### II.2.3.1. Le corps d'épreuve

Le corps d'épreuve est un élément sensible qui réagit à la grandeur à mesurer. Il a pour rôle de transformer la grandeur à mesurer en une autre grandeur physique dite mesurable [6].

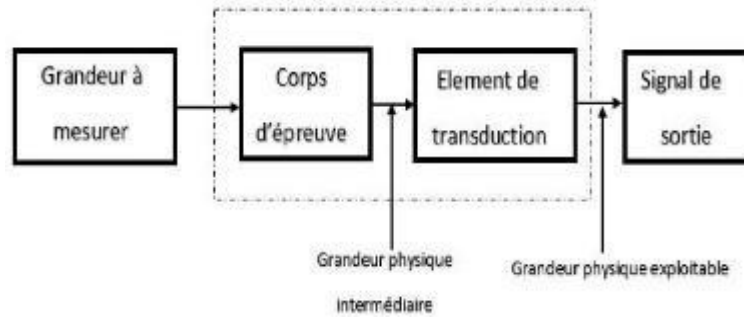


Figure II.02: structure d'un capteur [6].

### II.2.3.2. Transducteur (le capteur) :

Le transducteur est un élément sensible lié au corps d'épreuve. Il traduit les réactions du corps d'épreuve en une grandeur électrique constituant le signal de sortie [6].

### II.2.3.3. Le boîtier :

Le boîtier est un élément mécanique de protection, de maintien et de fixation du capteur [6].

### II.2.4. caractéristiques des capteurs :

#### a. Etalonnage :

L'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer, sous forme graphique, la Relation entre la grandeur et la grandeur électrique de sortie [2].

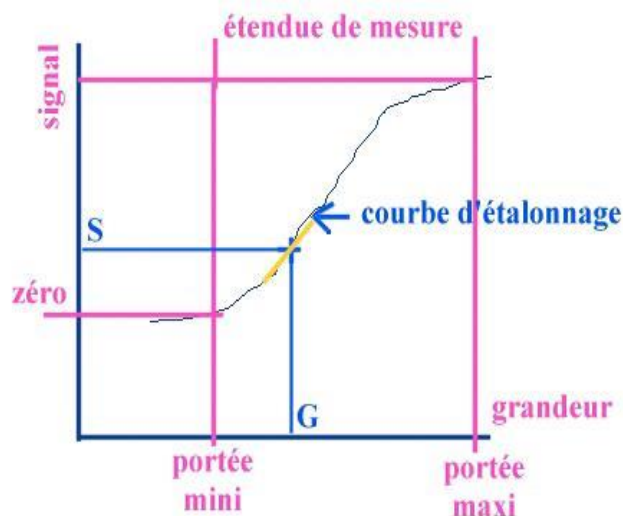


Figure II.03: Etalonnage d'un capteur [4]

**b. Domaine de linéarité :**

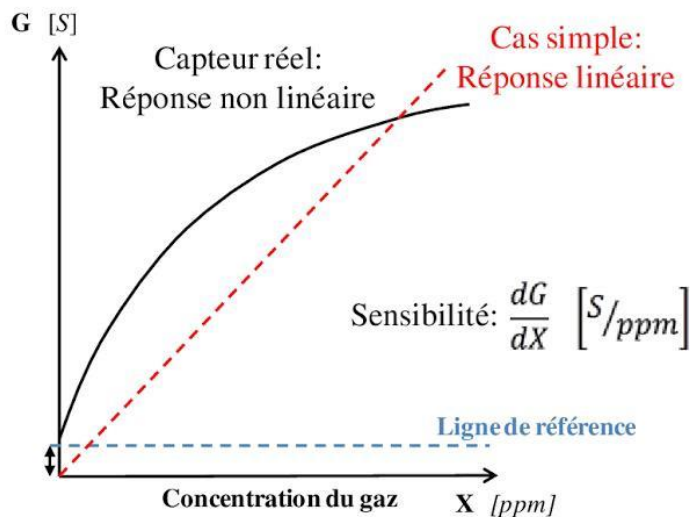
Dans ce domaine de linéarité, la variation de la grandeur de sortie est proportionnelle à la variation du mesurade [2].

**c. Sensibilité(s) :**

Ce paramètre caractérise l'aptitude du capteur à détecter la plus petite variation de la grandeur à mesurer. C'est une caractéristique importante pour l'exploitation et l'interprétation des mesures. Elle est définie comme étant la variation du signal de sortie (Sout) par rapport à la variation du mesurande (m) (pente de la portion linéaire de la courbe d'étalonnage) et s'écrit :

$$S = \frac{\Delta \text{sout}}{\Delta m} \dots\dots\dots \text{II-01}$$

Plus un capteur est sensible plus la mesure pourra être précise. C'est une caractéristique importante pour l'exploitation et l'interprétation des mesures[2].



**Figure II.04 :** Réponse non linéaire d'un capteur à semi-conducteur [7]

**d. Temps de réponse ou rapidité :**

La rapidité est caractérisée par le temps que met le capteur à réagir à une variation brusque du mesurande. Cependant la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique, elle correspond au temps nécessaire pour que le capteur délivre une certaine portion  $\alpha$  de la pleine amplitude du signal. Le temps de réponse noté  $t_\alpha$  est tel que  $\alpha$  vaut généralement 90%.

La connaissance du temps de réponse d'un capteur est un élément essentiel Lors de la réalisation de mesures [2].

**e. Précision :**

C'est le plus petit incrément de la valeur mesurée qui puisse être Significativement mesuré par le capteur [2].

**f. Fidélité :**

Elle définit la qualité d'un capteur à délivrer des résultats les plus proches possibles lors d'analyses répétées sur une même grandeur physique  $m$ . L'erreur de fidélité correspond à la dispersion (écart type)  $\sigma$  des résultats autour de la valeur moyenne  $\langle m \rangle$  de  $n$  mesures effectuées sur  $m$  :

$$\langle m \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \dots\dots\dots \text{II-02}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i - \langle m \rangle)^2}}{n-1} \dots\dots\dots \text{II-03}$$

$m_i$  : est la valeur de  $m$  à la 2ème mesure. Parmi les écarts de fidélité on distingue : la répétabilité [2].

**g. Répétabilité :**

La répétabilité correspond à la variation aléatoire des résultats d'une série de mesures successives d'une même grandeur physique  $m$ , effectuée dans les mêmes conditions de mesure pendant un court intervalle de temps. Ces conditions sont appelées conditions de

répétabilité et elles concernent le même mode opératoire de mesure, même observateur, même équipement de mesure, même lieu de mesure [2].

### **h. Sélectivité :**

Un capteur est dit sélectif, si la variation du signal de sortie est due Uniquement à la seule grandeur (physique, chimique, biologique...) qu'on veut Mesurer. C'est la capacité du capteur à ne mesurer qu'une seule grandeur dans le Milieu où il est utilisé ou en d'autres termes, d'être le plus insensible aux grandeurs D'influence, grandeurs qui ne font pas l'objet de la mesure, mais influent sur la sortie du capteur [2].

### **II.2.5. Différents types de capteurs :**

Il existe plusieurs classifications des capteurs. La plus répandue se réfère à la nature des mesurandes ou à la transduction, de façon indépendante de l'utilisation [2].

#### **a. Biocapteurs**

Par définition un biocapteur est un système analytique qui exploite la capacité de détection biologique pour une molécule cible, en conjonction avec un transducteur physicochimique qui transforme la reconnaissance biologique en un signal physiquement mesurable. Trois principaux éléments composent un biocapteur : une couche biologique sensible, un transducteur et un signal de sortie. La couche biologique contient un bio récepteur, qui reconnaît l'espèce biologique souhaitée et qui est immobilisé sur le transducteur. Ce dernier assure la conversion de la réponse biologique en un phénomène physique. Au plus haut niveau, le signal de sortie permet la mesure du phénomène physique élaboré par le transducteur. Ce niveau contient souvent des étapes d'amplification et d'affichage, de manière appropriée et interprétable par l'utilisateur [2].

#### **b. Capteurs chimique**

Les capteurs chimiques sont destinés à la détection et/ou à l'analyse de la concentration d'espèces chimiques ou biochimiques, gazeuses ou liquides en général. L'analyse d'espèces solides, bien que moins évidente, peut cependant être envisagée. Contrairement aux autres types de capteurs, les capteurs chimiques ont connu un succès limité sur le plan commercial, malgré la forte demande de nombreux secteurs de l'économie, tels que les industries chimique, métallurgique, automobile, électronique, agro-alimentaire, l'environnement, le domaine médical, les biotechnologies, etc... . Ce fait est vraisemblablement lié à la difficulté

technique de transformer une grandeur telle que la concentration d'une espèce chimique dans un liquide ou un gaz en signal électrique, tout en assurant simultanément reproductibilité, sensibilité et sélectivité.

Un capteur chimique en lui-même est composé de deux parties essentielles :

La première concerne la réception. Il s'agit de la partie qui transforme l'information chimique en une forme de signal ou d'énergie mesurable. Cette réception peut être soit physique (ce sont typiquement les capteurs basés sur les mesures d'absorbance, de l'indice de réfraction, de la modification de masse, ...), soit chimique (systèmes où il y a une réaction chimique avec l'échantillon à analyser qui donne naissance à un signal) [7].

La deuxième partie est la transduction. C'est la partie qui concerne la transformation du signal ou de l'énergie obtenue précédemment en un signal exploitable. Les différents principes de la transduction d'un capteur chimique sont très nombreux : optique, électrochimique, électrique, massique, thermoélectrique [7].

### c. Capteurs physiques

Ce sont des dispositifs sensibles à des phénomènes physiques, les mesurandes étant notamment la température, la masse, la force, la vitesse, le débit et de pression (ces derniers seront détaillés dans le paragraphe suivant) etc.....[7].

La sensibilité est assurée par divers phénomènes physiques, comme la piézoélectricité, l'effet hall, des variations d'impédance, la photosensibilité...etc [7]. Dans ce qui suit nous allons aborder en détail les capteurs de pressions SANS

## II.3/ Les capteurs des pressions :

### II.3.1. Définition de capteur de pression :

Un capteur de pression est un dispositif capable de mesurer la pression appliquée. Le capteur de pression convertit la pression physique en un signal électrique.

Un capteur de pression, souvent appelé transducteur ou transmetteur de pression, est un dispositif utilisé pour mesurer et convertir une pression mécanique ou hydraulique en un signal électrique. Le signal électrique peut être utilisé pour afficher la mesure de la pression sur un afficheur ou être envoyé à un régulateur, un automate ou à un système d'acquisition de données pour un traitement ultérieur.

Cette mesure de la pression peut être utilisée à diverses fins, notamment pour le contrôle des fluides, la surveillance des fluides et la mesure de la pression de l'air.[8]

Il est constitué de deux parties : une partie de détection dite « Cellule sensible » et une partie de traitement de l'information par l'intermédiaire d'un circuit électronique que l'on peut appeler «Circuit électronique de traitement » ou encore « Circuit convertisseur ». La partie détection est quant à elle constituée d'un « corps d'épreuve » et d'un « transducteur» qui transforme la déformation de ce corps d'épreuve en une grandeur physique, la plupart du temps électrique [9].

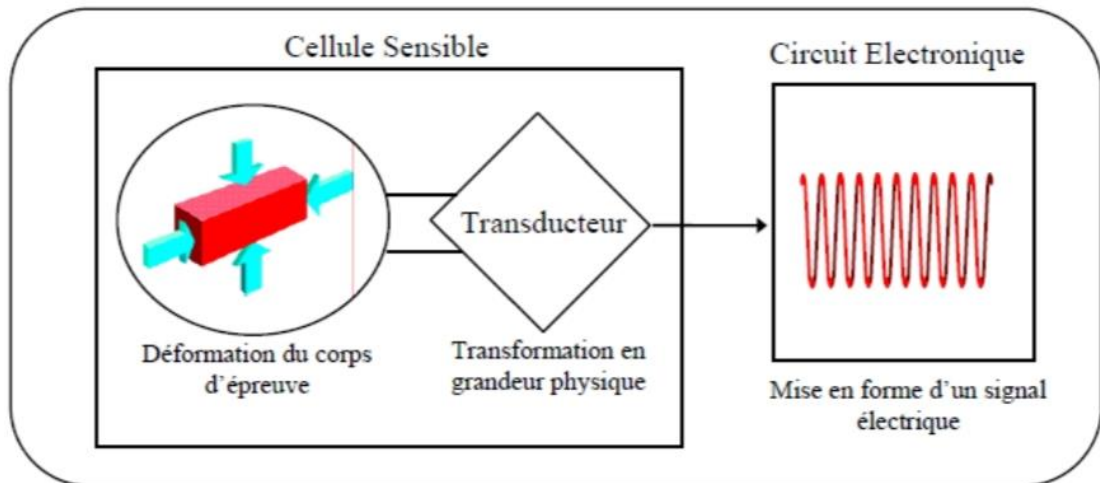


Figure II.05: Schéma synoptique d'un capteur de pression [10].

### II.3.2. Principe d'un capteur de pression :

Un capteur de pression est un système constitué de deux parties : une partie détection appelée «Cellule sensible » et une partie traitement de l'information appelée «circuit électronique de traitement » ou encore « Circuit conditionneur ».

La partie détection est constituée d'un « Corps d'épreuve » et d'un «Transducteur».

- Le corps d'épreuve est l'élément mécanique qui soumis aux variations de la grandeur à mesurer (mesurande) a pour rôle de la transformer en une grandeur physique mesurable. Pour les capteurs de pression cette grandeur est généralement une déformation, les corps d'épreuve les plus utilisés sont les plaques, les poutres et les membranes.

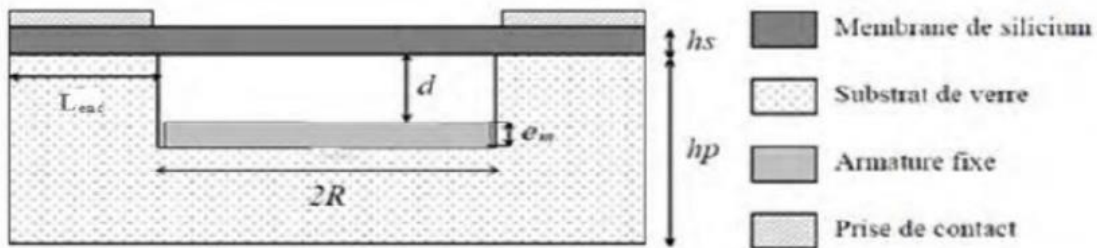
- Le transducteur est l'élément sensible qui, lié au corps d'épreuve, traduit les réactions de ce dernier en signal électrique.
- Le module électronique est le module de traitement du signal en vue d'une éventuelle exploitation [11].

**II.3.3 .Les capteurs de pression différentiels :**

**A- Capteur De Pression Capacitif**

La figure 1-6- représente le schéma en coupe de la structure d'un capteur de pression capacitif. La membrane fine au silicium constitue l'armature mobile, tandis que le substrat en Pyrex 7740, sur laquelle est déposée une couche métallique forme l'armature fixe. Les deux électrodes, fabriquées séparément, ont été collées par soudure anodique (procédé thermoélectrique de soudure). La pression appliquée P engendre une variation de la déflexion  $w(x, y)$  qui à son tour fait croître la capacité  $C(P)$ . La valeur de la capacité au repos  $C_0$  est donnée par : [11]

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \dots\dots\dots \text{II-04}$$



**Figure II-06- :** Schéma en coupe de la structure d'un capteur de pression capacitif [11]

**B – Capteur de pression résistif**

La piste résistive est placée sur la partie fixe du capteur et le mouvement mécanique mesuré est accouplé à un curseur qui se déplace sur celle-ci, ainsi la résistance entre un point fixe et la partie mobile du potentiomètre est fonction de la position à mesurer.

L'élément sensible est constitué d'un support sur lequel est déposée une pate résistive qui incorpore un liant plastique et du carbone (cas des capteurs a piste résistive) ou un bobinage résistif (cas des capteurs à fil résistif). L'élément sensible ainsi obtenu peut être apporté.

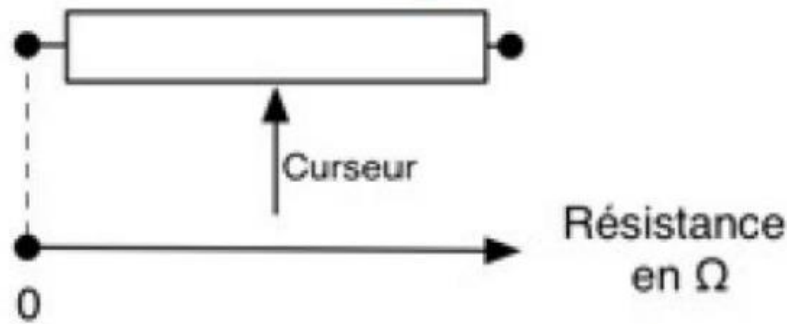


Figure : II.07 : Capteur résistif [12]

- Soit à l'intérieur d'une forme cylindrique pour constituer un potentiomètre rotatif.
- Soit fixé sur un support plat pour réaliser un capteur de déplacement rectiligne.

#### II.3.4. Capteur de pression à base de cristaux photoniques – Principe De la détection :

Les cristaux photoniques (PhCs) sont l'un des domaines de recherche les Populaires en nano-optoélectronique et photonique de nos jours. Chaque jour, de Nouvelles applications des PhCs sont découvertes. Parmi les applications connus on Trouve ; les guides d'ondes à cristaux photoniques, les fibres optique à cristaux Photoniques, les lasers à faible seuil,...etc. L'application des PhCs dans le domaine des capteurs est un domaine de recherche D'actualité, en effet les PhCs ont un potentiel de détection très important des Paramètres physiques (Température et pression hydrostatique) avec une très haute Résolution et sensibilité. Ces microstructures sont de nos jours utilisés pour détecter Les gaz, l'humidité, Mesures et détection chimique et biologique [13] et aussi la Détection des grandeurs mécaniques et en particulier la pression.

L'effet de la pression hydrostatique sur les paramètres électroniques et optique des Matériaux tels que l'écart énergétique et l'indice de réfraction peuvent être considérés Comme un bon support pour le phénomène de détection de pression. En effet, en Appliquant une pression au PhC, l'indice de réfraction du matériau, sa géométrique Changent et ce changement sera lié étroitement à la juste valeur de la pression mis en cause.

Certain capteur de pression utilisent des guides d'onde à PhC et d'autres utilisent des Guides d'onde couplés à une /ou plusieurs nano-cavités. Dans le premier cas, le spectre Du guide d'onde se trouve décalé par rapport à sa position d'origine (position du repos Du

capteur). Dans le second cas, la longueur d'onde de résonance de la nano-cavité Elle aussi se décale de sa position de repos d'une distance qui dépend de la pression appliquée [14].

### **II.4. Différents exemples d'applications des cristaux photoniques dans le domaine des capteurs de pression :**

Le cristaux photonique a envahie tous les domaines de contrôles et de surveillances quand trouve devant nous tous les jours. Dans cette partie nous donnerons des exemples de capteurs de pressions qu'on a recueillis de la vaste littérature du domaine.

#### **II.4.1. Les capteurs de pression à base de cristaux photoniques :**

Comme un exemple de capteur de pression à base de cristaux photonique nous allons citons quelques designs.

Dans cet article, les auteurs proposent un capteur de pression nanométrique avec des résonateurs à nano cavités à cristaux photoniques bidimensionnels. Lorsque la pression est appliquée, la contrainte est répartie sur la structure cristalline et l'indice de réfraction est modifié [11].

#### **II.4.2. Première application :**

##### **II.4.2.a- Structure du capteur :**

Le designs de Saed OLYAEE and Ali Asghar DEGHAN .Le guide d'onde peut être réalisé en supprimant une rangée de trous d'air ou en supprimant une rangée de tiges diélectriques. L'onde se propage dans Si pendant le premier cas et se propage dans l'air pour le second cas, et par conséquent, la perte peut être ignorée. Ce le guide d'ondes est construit en silicium sur isolant(SOI). Dans une plaquette SOI ayant des tiges de Si, Si et SiO<sub>2</sub> sont le substrat ( $n = 3,5$ ) et l'isolant ( $n = 1,45$ ), respectivement, et les tiges de Si sont configurées dans la couche supérieure de Si [15].

Le résonateur à nano-cavité PhC avec un facteur de qualité (Q) élevé peut être utilisé dans de nombreuses applications. La valeur Q de la nano-cavité peut être amélioré en changeant le nombre de périodes cristallines entre la nano-cavité et le guide d'onde.

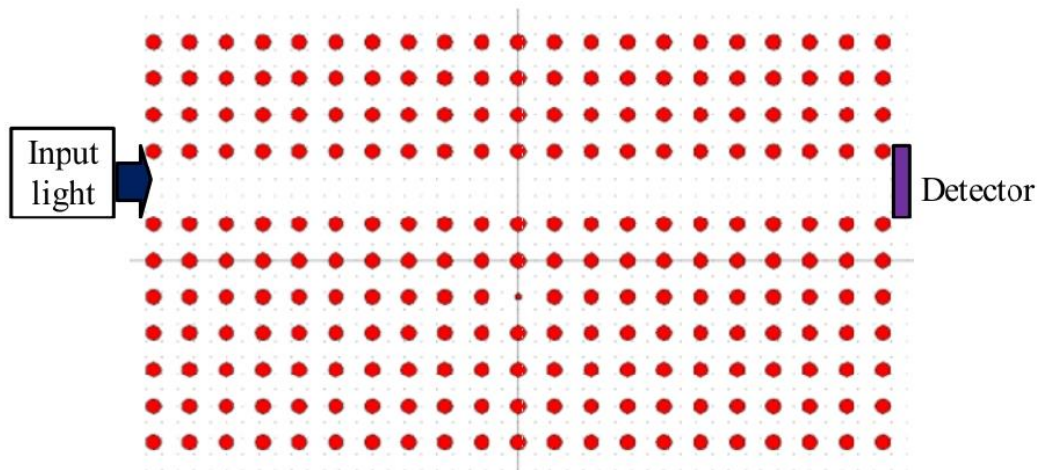
La structure du capteur proposée est structure cristalline photonique conçue consiste en un réseau carré de tiges de Si avec  $n=3,5$  entouré d'air avec  $n=1$ .

La constante et le rayon des tiges de Si sont respectivement Considéré comme 450 nm et  $r=0,2a$ . Par effectuer une approche d'expansion d'onde plane (PWE),

Le PhC indique la fréquence normalisée de photonique bande interdite pour le mode TE entre 0,2795 eV et 0,4154 eV qui est égal aux longueurs d'onde entre 1083nm et 1610nm

Ce capteur est conçu pour travailler dans la gamme de l'infrarouge c-à-d pour des longueurs d'ondes situées entre 1300 nm à 1400 nm. L'optimisations de la structure a conduit les auteurs de ce travail à un rayon RC de la nano-cavité de  $0,077 \times a$ .

Finalement, la présence des deux rands de tiges entre le guide d'onde et la nano-cavité a produit un bon facteur de qualité [14].



**Figure : II-08** : Disposition de la structure du capteur constituée d'un réseau carré De tige de Si dans l'air avec  $a = 450$  nm et  $r = 0,2a$  [14]

### II.4.2.b- Résultat

En l'absence de pression la nano cavité montre une longueur d'onde résonnante Située à  $\lambda = 1316$  nm et facteur de qualité correspondant de  $Q = 1470$ . Pour étudier L'effet de la pression sur la structure, nous avons effectué une étude approfondie. Les Simulations ont été réalisées pour différents valeurs des pressions de 0 à 10 GPa par Incrément de 1 GPa à chaque étape [14].

Les courbes de la Figure II.09, donnent les impulsions de sorties Correspondantes à chaque pression. De ces courbes on voit bien que la pression Appliquée influe sur l'abscisse de ces impulsions et ces dernières se trouvent décalée D'un  $\Delta\lambda$  de valeur dépendante de la pression hydrostatatique appliquée [14].

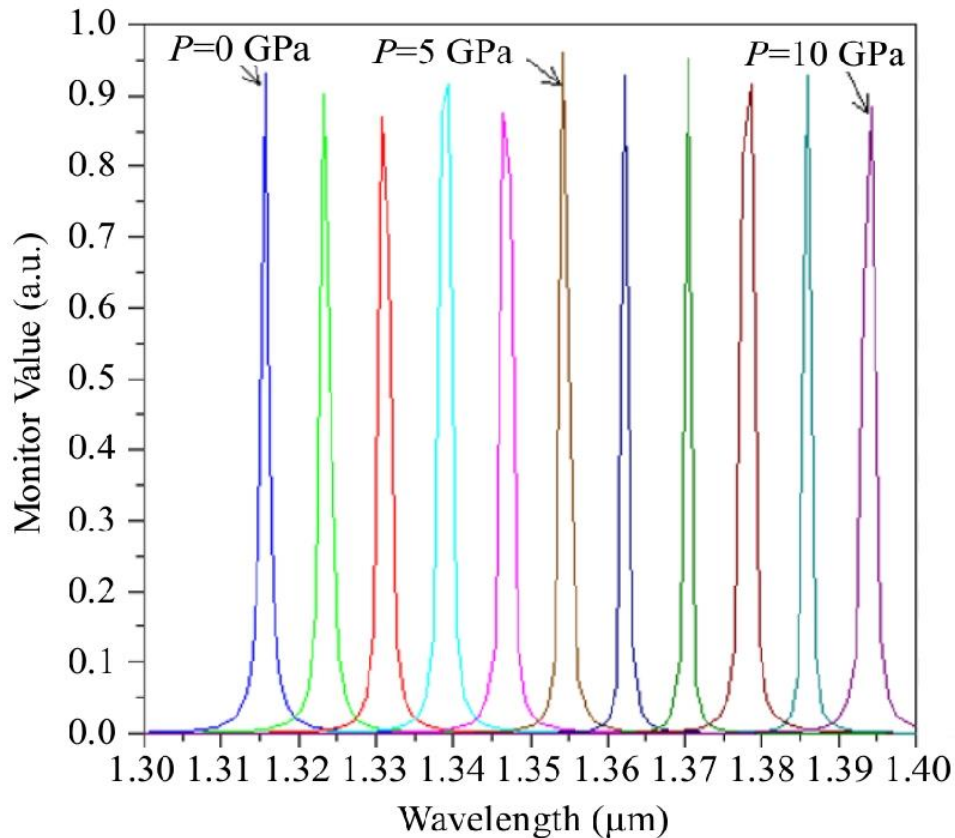


Figure II.09 : réponse de capteur pour différentes pression de 0 à 10 GPa [14]

### II.4.3. Deuxième application :

#### II.4.3.a- Structure du capteur

Le designs de T. Zouache, A. Hocini, A. Harhouz et R. Mokhtar Le capteur de pression proposé consiste en un guide d'onde comprenant un micro gap. Le guide d'onde est obtenu en supprimant une rangée de trous d'air dans la direction  $\Gamma K$ . La microcavité est obtenue en supprimant un trou près du guide d'ondes, comme illustré sur la figure 1a. près du guide d'ondes, comme illustré à la Fig. 10. La source est une lumière gaussienne pulsée d'une longueur d'onde de 1,55  $\mu\text{m}$  (longueur d'onde standard pour les appareils de

télécommunication) située à l'entrée du guide d'onde et un écran placé à l'extrémité du guide d'onde. placé à l'extrémité du guide d'onde. Le capteur exploite la variation de l'indice de réfraction du germanium lorsqu'une pression hydrostatique  $P$  est appliquée sur sa surface sensible [16]

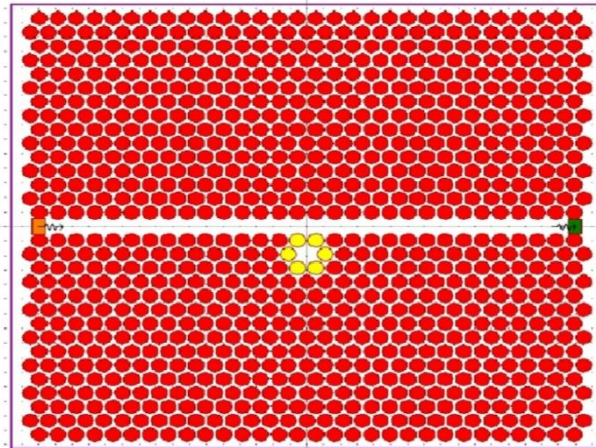


Figure : II-10 :. Le capteur de pression conçu [16]

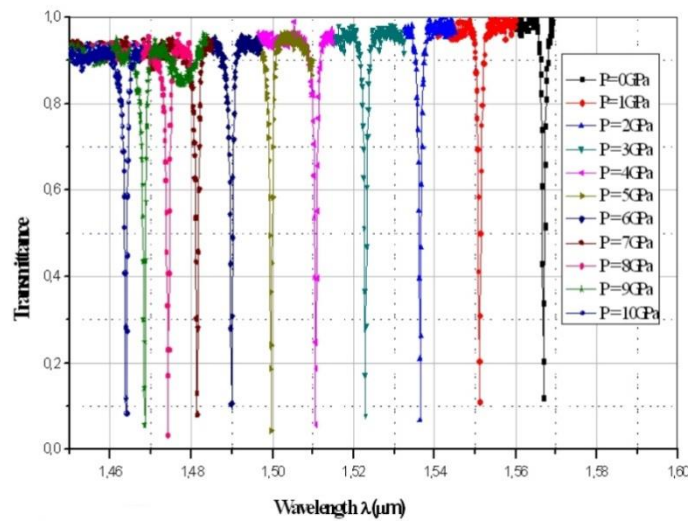
On dessine la réponse de notre capteur pour une variation de pression de 0 GPa à 10 GPa avec un pas de 1 GPa et les résultats sont présentés sur la Fig. 11

#### II.4.3.b- Résultat

La réponse de le capteur conçu a une bonne transmission et aussi pour la région correspondant à  $P$  élevé, les positions des pics sont plus étroites. Cela peut s'expliquer par l'existence d'une non-linéarité relativement forte du  $n_{Ge}$  en fonction de la pression courbe pour cette valeur de  $P$ . La microcavité donne un décalage de 15,8 nm, équivalent à la sensibilité de 362,38 nm/RIU pour un changement de valeur RI de 0,0436 (ce qui correspond au changement de 1 GPa de pression, figure 4a). Pour les mesures RI, la sensibilité ( $S$ ) est calculé comme le rapport de la longueur d'onde de résonance  $\lambda_0$  décalage et le changement du RI et de son unité est donné par nm/RIU. La sensibilité est la performance la plus importante indicateur qui mérite d'être étudié. Il est calculé comme le rapport du décalage de la longueur d'onde de résonance et le changement de la pression et son unité sont données en nm/GPa. Ça dépend sur le décalage de la longueur d'onde de résonance ; plus il y a de

décalage, plus la sensibilité est élevée. Il est obtenu à partir du relation  $\Delta\lambda_p = (2)$  Les résultats obtenus sont présentés dans la Fig. 12. [16]

De ce chiffre on voit clairement que la sensibilité du capteur peut atteindre 15,8 nm/GPa et par comparaison avec d'autres capteurs de pression utilisant des PhC qui ont une sensibilité d'environ 13,9 nm/GPa dans la plage dynamique entre 0 et 2 GPa, cette capteur conçu a une sensibilité plus élevée.[17]



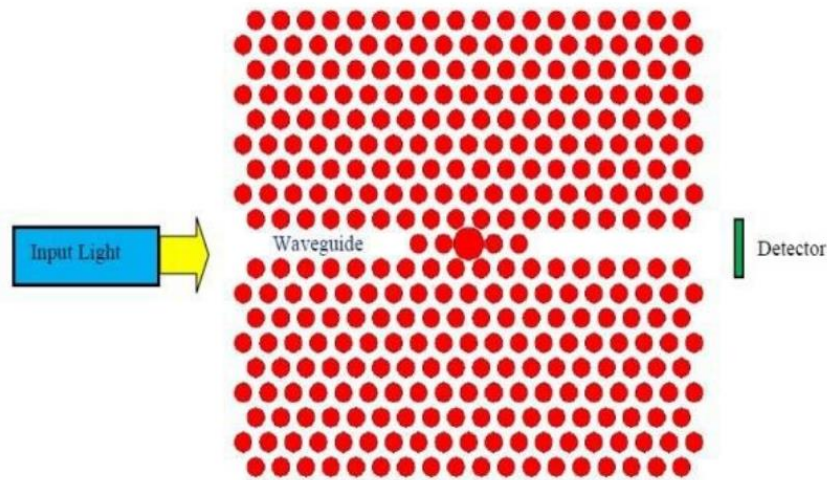
**Figure : II-11** : Transmittance pour différentes pressions appliquées dans la gamme 0–10 GPa[16]

#### II.4.4. Troisième application :

##### II.4.4.a- Structure du capteur

Structure proposée par Mohankumar B, Mme Indira Bahadur. Une structure hexagonale a d'abord été conçue et la géométrie de la ligne de faille a été introduite en supprimant les rails de la cellule. Pour créer une cavité résonnante, avec une tige placée au milieu de la grille de rayon croissant et des coordonnées adjacentes placées avec un autre rayon. Ils insèrent une source lumineuse à une extrémité du guide d'ondes et la lumière est obtenue à partir du détecteur. Lorsque la pression est nulle, le déplacement est également nul. Une pression est appliquée à la cavité résonnante pour propager la lumière à travers le réseau hexagonal qui est

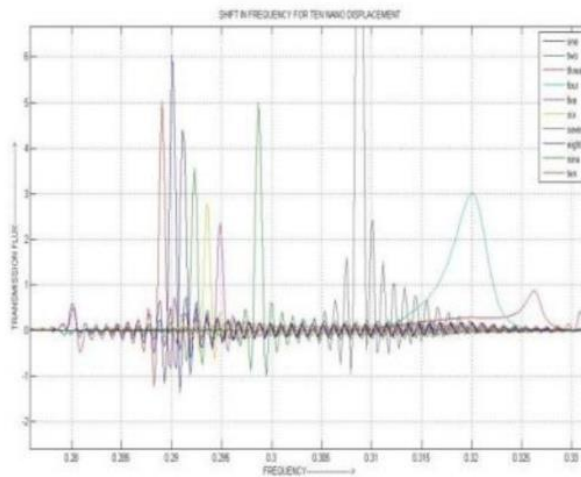
modifié et l'indice de réfraction est également modifié [11].



**Figure : II-12 :** La disposition de la structure du capteur se compose de lignes couple de guide d'ondes dirigé vers la nano cavité. [11]

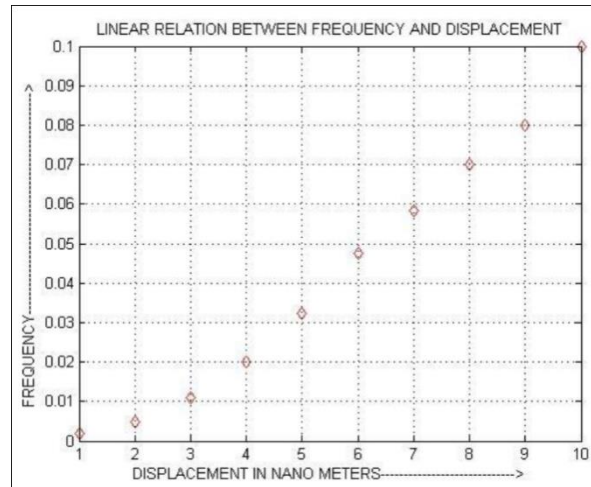
#### II.4.4.b- Résultats

Quand la pression est appliquée sur la cavité résonante, la propagation de la lumière par et l'indice de réfraction changent [11]. La figure ci-dessous montre déplacement du spectre de sortie (de 1nm à 10nm) en fonction de la pression appliquée de. En analysant la courbe de la figure II.13, on constat que la fréquence de coupure correspondante à chaque pression se décale d'une grandeur  $\Delta\lambda$  par rapport a L'état de repos.



**Figure II.13 :** Déplacement des spectres de sortie (pour 1nm à 10nm) en fonction de la Pression appliquée [11]

La figure II.14 montre la dépendance linéaire de la fréquence de résonance en fonction de la pression appliquée.

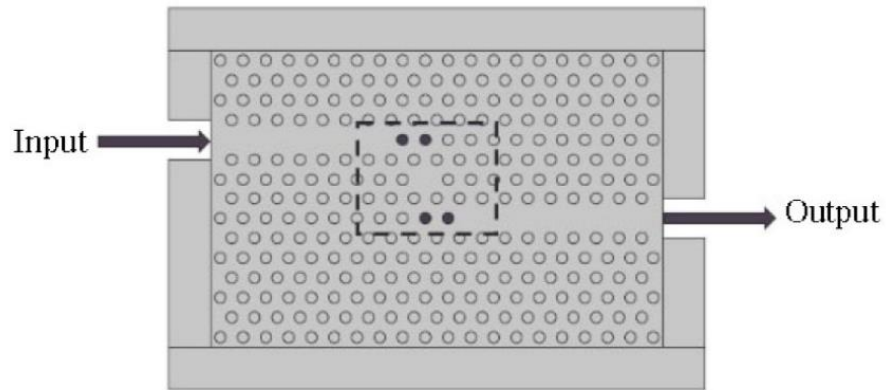


**Figure : II-14:** Variation de la fréquence des impulsions de sortie de sortie en fonction De la pression [11]

#### II.4.5. Quatrième application :

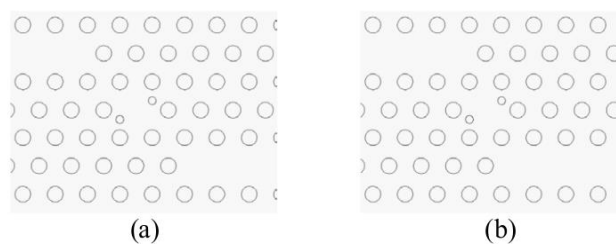
##### II.4.5.a- Structure du capteur :

Le designs de Shangbin TAO, Deyuan CHEN, Juebin WANG, Jing QIAO, and Yali DUAN .Deux défauts de ligne sont introduits en supprimant Barres de GaAs pour former l'entrée et la sortie guides d'ondes comme illustré à la Figure.15. Ces deux les guides d'ondes sont couplés à travers une nano-cavité qui est formé en enlevant une tige de GaAs entre le deux guides d'ondes. Le port marqué « entrée » avec un la flèche sur la Figure.15 est le port d'entrée. La source lumineuse est mettre au port d'entrée afin d'exciter la structure. Le port marqué « output » dans la Figure.15 est le port de sortie. Le détecteur photonique est placé au port de sortie pour détecter la lumière de sortie afin que la résonance longueur d'onde de la structure peut être analysée. Thé partie du capteur, c'est-à-dire les extrémités des guides d'ondes et le nano-cavité marquée sur la Figure.15 par les pointillés sont étudiés et optimisés afin d'obtenir de meilleurs résultats performance.[18]



**Figure : II-15** : diagramme schématique du capteur 2D-PhC[18]

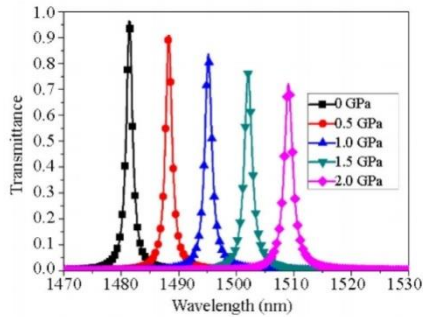
La structure de la nano-cavité détermine le facteur de qualité lorsque le réseau la constante et le rayon des tiges sont décidés. Par correctement concevoir la nano-cavité, le facteur de haute qualité et sensibilité peut être atteinte. Retrait d'une tige de GaAs comme illustré à la Fig. 16 peut être la nano-cavité la plus simple. Mais la qualité facteur est trop faible, il est donc nécessaire d'optimiser le structure de la nano-cavité. Afin d'augmenter la facteur de qualité et la sensibilité, la structure du la nano-cavité est modifiée. Et deux petites tiges de GaAs avec le rayon de 65 nm sont placés à l'intérieur du nano-cavité comme le montre la figure II-16[18]



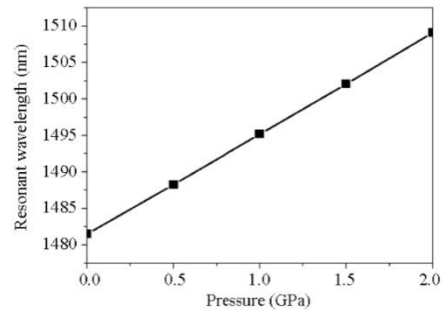
**Figure : II-16** : Partie d'accouplement agrandie des cas (a) et (b).[18]

La figure 17 montre la transmission du capteur pour le cas (a) sous différentes pressions de 0 à 2 GPa. Il est clair qu'avec l'augmentation de la pression, la couplage des décalages vers le rouge en mode résonnant, la transmittance passe de 96% à 72%, et le facteur qualité diminue de 1140 à 838. Le mode de résonance longueur d'onde avec la pression a été pointillé dans Figure.18. Une relation linéaire évidente peut être observée, permettant des mesures linéaires de la pression. Il est donc relativement correct pour estimer la sensibilité du capteur

S comme le rapport de la variation de la longueur d'onde de résonance à la variation de pression appliquée, c'est-à-dire la pente de la courbe :  $S = \frac{\Delta \lambda}{\Delta P}$ . (11)



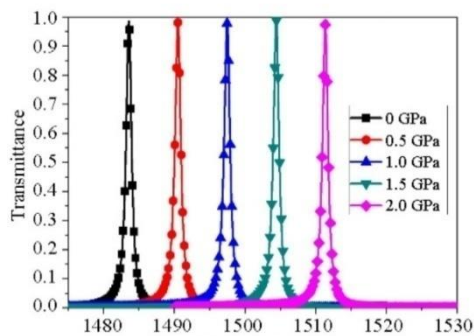
**Figure : II-17 :** Spectre de transmission pour différentes pressions appliquées.



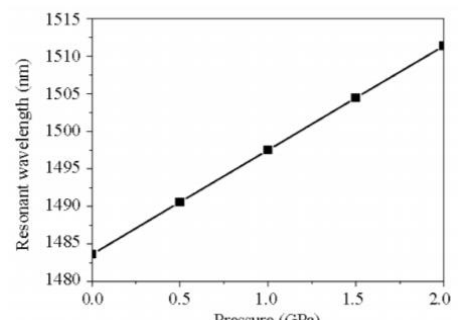
**Figure : II-18 :** Relation linéaire entre la longueur d'onde de résonance et une pression dans plage de 0 à 2Gpa.

Dans le cas, S est égal à 13,7 nm/GPa. Il semble ont le meilleur paramètre de performance, mais le la transmission diminue lorsque la pression augmente. Quand en appliquant une pression de 2GPa, la transmission chute à 72%, ce qui est inacceptable.

Pour le cas (b), les spectres de transmission du capteur sous différentes pressions sont illustrés à la Figure.19. Avec une pression croissante, la longueur d'onde de résonance a un redshift linéaire (figure II-20), et la transmittance et le facteur de qualité change légèrement[18]



**Figure : II-19 :** Spectre de transmission pour différentes pressions appliquées.



**Figure :II-20 :** Relation linéaire entre la longueur d'onde de résonance et pression dans la plage de 0 à 2Gpa.

### II.4.5.b- Résultats

On constate que la résonance la longueur d'onde se décale et suit une loi linéaire. Le facteur de qualité est d'environ 1500, et la sensibilité est environ 13,9 nm/GPa sous la plage dynamique entre 0 et 2 GPa. Ce capteur peut être utilisé dans détection d'occaton telles que pipeline longue distance surveillance de la déformation ou autres applications de détection en raison de sa haute sensibilité et de sa réponse rapide.[18]

### II.5.Conclusion :

L'utilisation des cristaux photoniques pour la réalisation de capteur est le sujet D'actualité des recherches en nano-optoélectronique et photonique. Dans ce chapitre Nous avons présentés les notions de base sur des capteurs, définies, leurs caractéristiques et les différents types des capteurs. Ensuite nous allons étudier le capteur de pression en détail puis nous avons donnés différents des exemples d'applications des cristaux photoniques dans le domaine de détection de pression par l'usage de ces structures.

## Chapitre II : Généralité sur les capteurs

---

### Bibliographie

[1] Philippe Meyne, « Généralité sur le capteur », université paris 12 val de marne ,2009.

[2] Bougriou Frida, « Etude théorique des matériaux a bandes interdites photoniques bidimensionnels : applications dans le domaine du guidage optique et la détection », thèse doctorat, université Constantine 1, 2013.

[3] : <https://www.les-electroniciens.com>

[4] [Samira Amoudache, « Cristaux photonique accordables ; application au domaine Des capteur»,thèse de doctorat,université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou,2015.](#)

[5] <http://fr.wikipedia.org/wiki/capteur>

[6] Bougriou Frida, « Etude théorique des matériaux a bandes interdites photoniques bidimensionnels : applications dans le domaine du guidage optique et la détection », thèse doctorat, université Constantine 1, 2013.

[7] Karoun Farés, «Etude du comportement de la polyanilineexposee aux gaz Polluants », Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas, Setif1,2014.

[8] <https://www.fujielectric.fr/actualite/capteur-de-pression-definition>.

[9] Philippe Menini « Faisabilité d'un capteur de pression capacitif miniature sur Silicium », Thèse doctorat de l'université P. Sabatier Toulouse. 1998.

[11] Kemouche Saleh « simulation thermomécanique de capteur de pression ou silicium

Pour des applications Biomédicale ». Mémoire de magister, université Constantine 1, 2014

[12] Samira Amoudache «cristaux photonique accusables : application ou domaine des Capteur » P23,25.

[13] S.Olyae and A.AsgharDehghani, « Nano-pressure sensorusing high QualityPhotoniccrystalcavityresonator,conferencepaper.July 2012.

[14] S.Olyae and A. AsgharDehghani, « High Resolution and Wide Dynamic Range Pressure Sensor Based on Two-Dimensional Photonic Crystal. », PhotonicSensors Vol. 2, No. 1, 92–96, 2012.

[15] M. Loncar, T. Doll, J. Vuckovic, and A. Scherer, "Design and fabrication of silicon photonic crystal optical waveguides," *J. Lightwave Technology*, vol. 18, no. 10, pp. 1402–1411, 2000.

[16] T. Zouache, A. Hocini, A. Harhouz, R. Mokhtari. « Design of Pressure Sensor Based on Two-Dimensional Photonic Crystal ». Special Issue of the 6th International Congress & Exhibition (APMAS2016), Maslak, Istanbul, Turkey, June 1–3, 2016 .Vol. 131 (2017)

[17] Shangbin Tao, Deyuan Chen, Juebin Wang, Jing Qiao, Yali Duan, *Photon. Sens.* 6, 137 (2016)

[18] : Shangbin TAO, Deyuan CHEN, Juebin WANG, Jing QIAO, and Yali DUAN, "A High Sensitivity Pressure Sensor Based on Two-Dimensional Photonic Crystal," *Photonic Sensors*, 2016, 6(2) : 137–142.

# **Chapitre III: Capteur proposé- résultats et discussions**

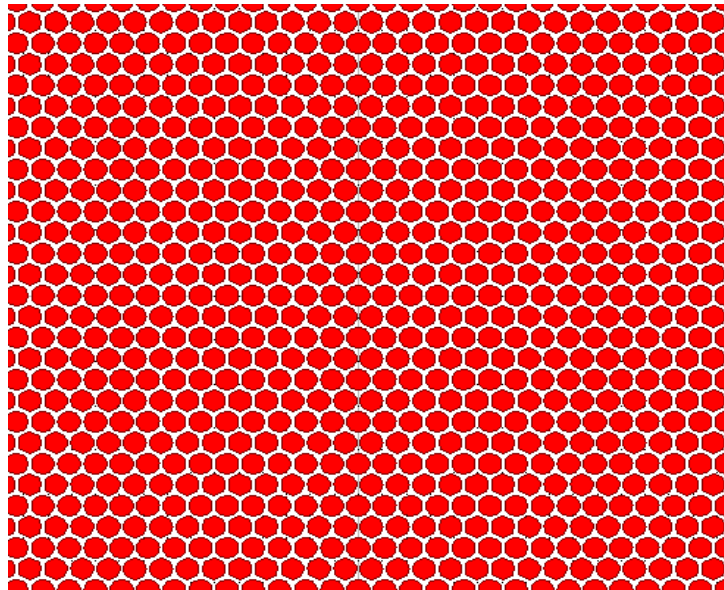
### III.1.Introduction

Après le tour d'horizon que nous avons fait au chapitre précédent sur l'emploi des cristaux photoniques dans le domaine des capteurs, dans le présent chapitre nous allons exclusivement étudier le cas des capteurs de pression à base de ce type de structure. Le matériau de base que nous avons utilisé ici pour la structure que nous avons proposée est l'InAs. Le choix de ce matériau est dû à ses bonnes caractéristiques optiques. En fin, il est à noter que les simulations effectuées ici ont été réalisées grâce au logiciel professionnel RSoft de Rsoft photonique, ce dernier est un logiciel spécialisé dans le design et la caractérisation des structures à cristaux photoniques.

### III .2.Structure de base du capteur :

#### III.2.1. Structure initiale proposée :

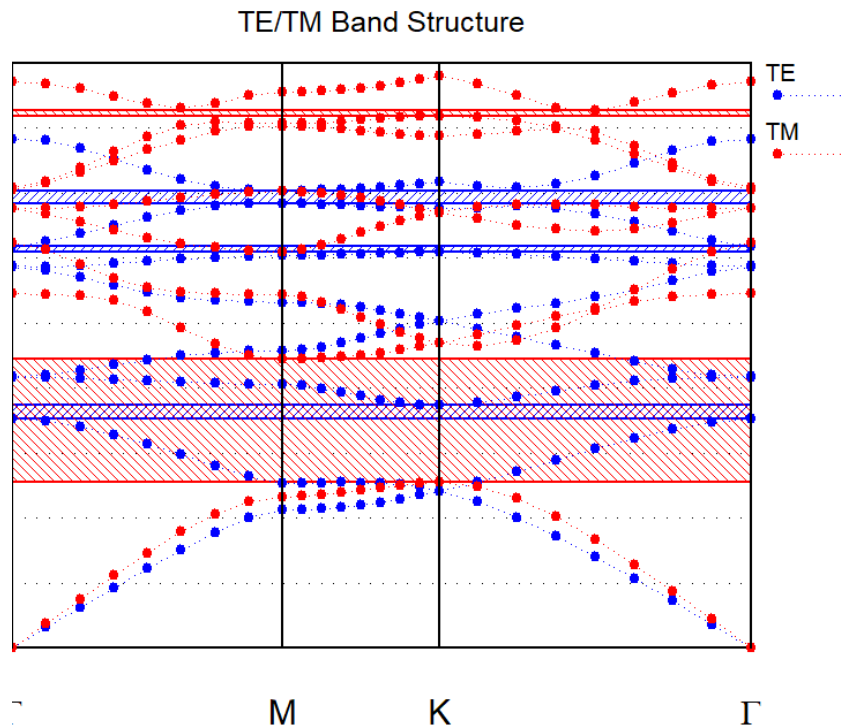
Dans la structure que nous avons proposée, nous avons considérée une matrice initiale de trous d'air creusés dans une couche active en InAs (ayant un indice de réfraction de 3.858 [1]) avec une période  $a$  et un rayon de trous  $r$  (voir figure III.01).



**Figure III.01** : la matrice de trous d'air dans le substrat du InAs proposée

### III.2.2. Bande interdite photonique de la structure proposée

Le diagramme de bande interdite de cette structure est représenté en figure III.02. De cette figure on constate l'existence de bandes interdites optiques pour le mode de propagation TE (Transverse électrique) et aussi pour le mode TM (Transverse magnétique). La bande interdite la plus large est celle correspondant au mode TM, de ce fait c'est elle entre autres qui sera exploitée. De la figure III.02, on peut aisément voir que le plus grand gap optique est situé entre  $1.2368\mu\text{m}$  et  $2.1558\mu\text{m}$ . Le calcul des bandes interdites est réalisé par le module **Band Solve** de l'environnement R Soft.



**Figure III.02 :** Diagramme de dispersion des bandes interdites du mode TM

### III.2.3. Structure finale du capteur proposé

Après la définition de la bande interdite de la structure, on doit lui associer une microcavité qui sera l'élément actif du capteur. En effet, dans un premier temps nous avons réalisés un guide d'onde central par l'enlèvement de la ligne centrale de trous, puis nous avons créé deux micro cavités du type H1, comme représentée en figure III.03.

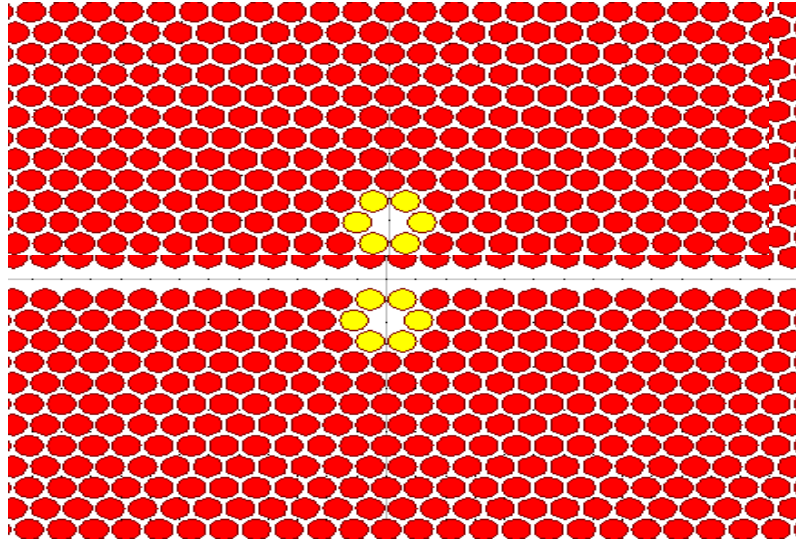


Figure III.03 :La structure finale du proposé

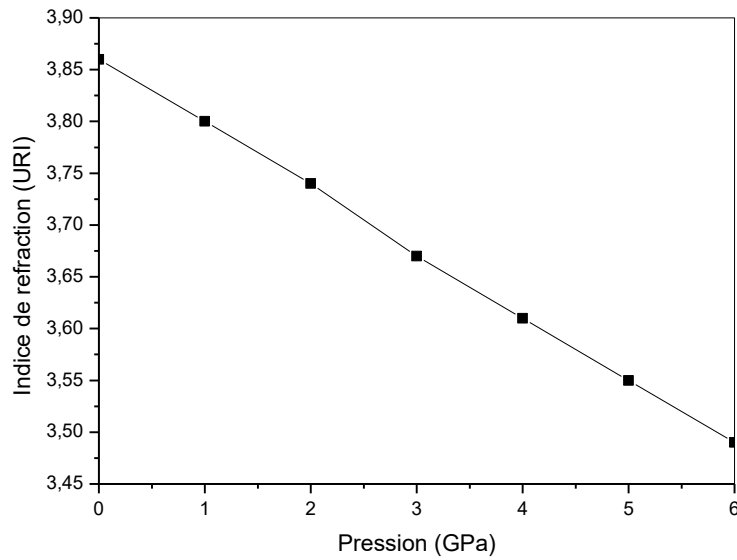
### III .3.Indice de réfraction pression pour l’InAs :

Le comportement optique du InAs quand il est soumis à des pressions hydrostatiques, a été abordés par N.Bouarissa [1]. En effet, entre les différents modèles proposés par N.Bouarissa, nous avons choisi d’adopté de model de **Ravidra et Gupta**[ 1].

Puis pour définir les valeurs de l’indice de réfraction dans la gamme de pression choisie entre 0 et 6 GPa, nous avons relevé puis tracé la courbe donnant la variation de l’indice de réfraction en fonction de la pression partir des courbes du model de **Ravidra et Gupta**[ 1]. Le tableau III.01, regroupe ces valeurs et la figure 3.4 donne une représentation graphique de ces valeurs.

<b>P(GPa)</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>n (UIR)</b>	3,86	3,8	3,74	3,67	3,61	3,55	3,49

Tableau III.01 : Indice de réfraction de L’InAs en fonction de la pression.



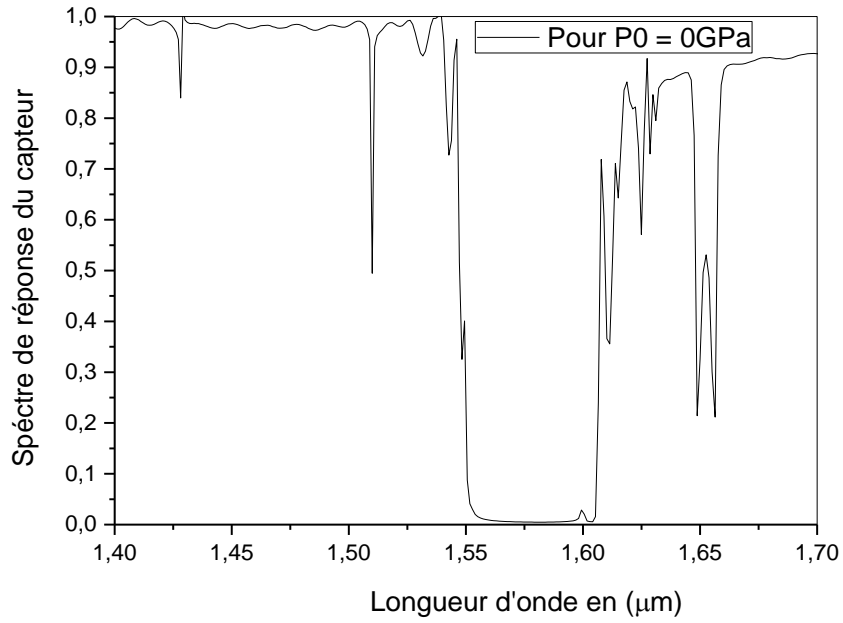
**Figure III.04:** Indice de réfraction de L'InAs en fonction de la pression

### III.4. Etude de la réponse de la structure proposée en fonction de la pression :

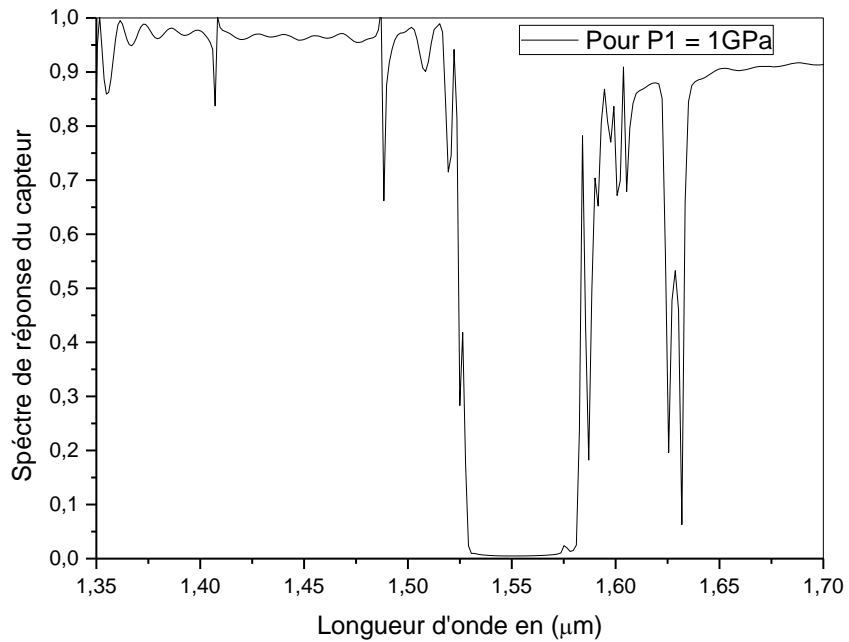
Une fois nous avons définies la façon avec laquelle varie l'indice de réfraction de l'InAs en fonction de la pression, nous allons dans cette session du chapitre calculés et tracé la réponse du capteur quand il est soumis à une pression hydrostatique.

Une pression hydrostatique est caractérisée par son caractère à déformer la surface sensible sur laquelle elle est appliquée de la même façon dans toutes les directions. Le capteur que nous avons conçus est destiné à mesuré les pressions d'ordre du giga pascal (GPa).

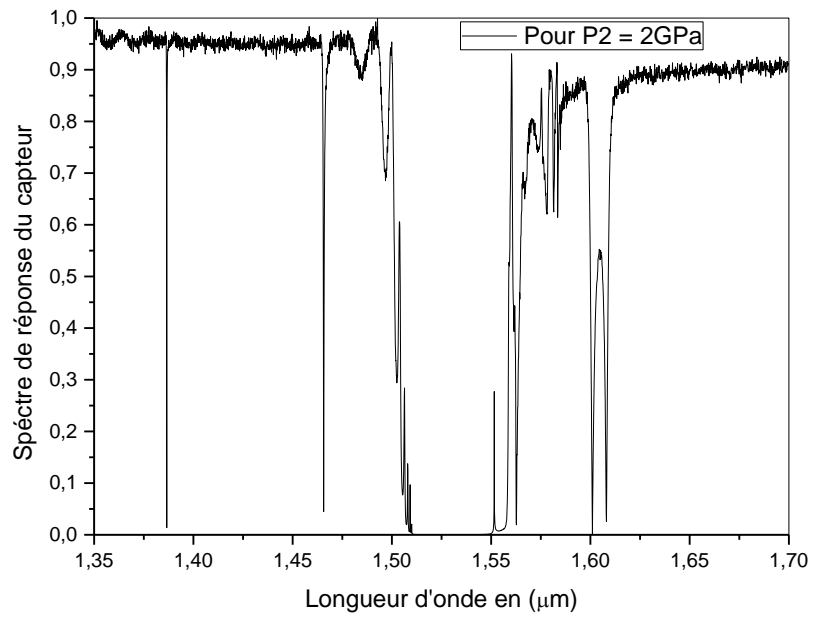
Dans notre travail nous avons considéré un intervalle de pression de 0 à 6GPa conformément au modèle proposé par **Ravidra et Gupta** [1] et les figures suivantes illustrent les réponses du capteur pour chaque pression.



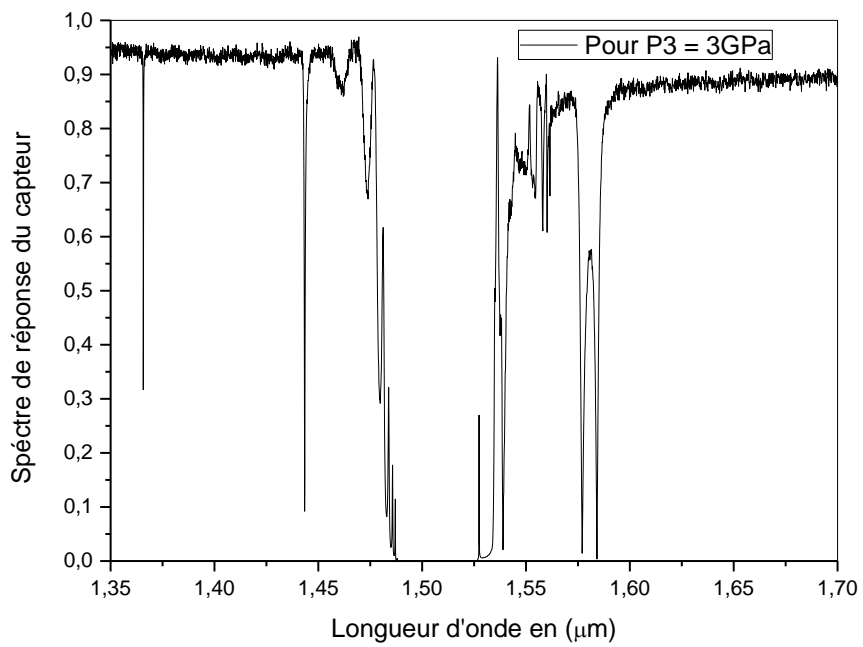
-a-



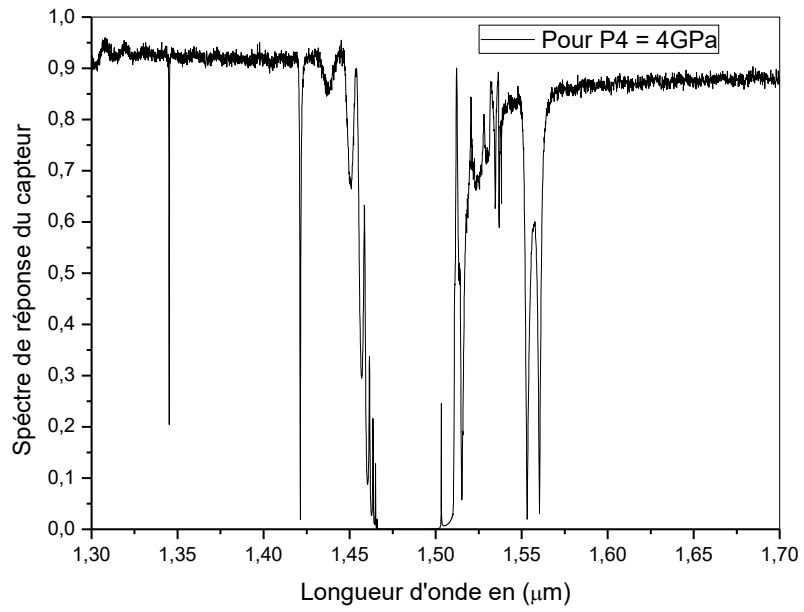
-b-



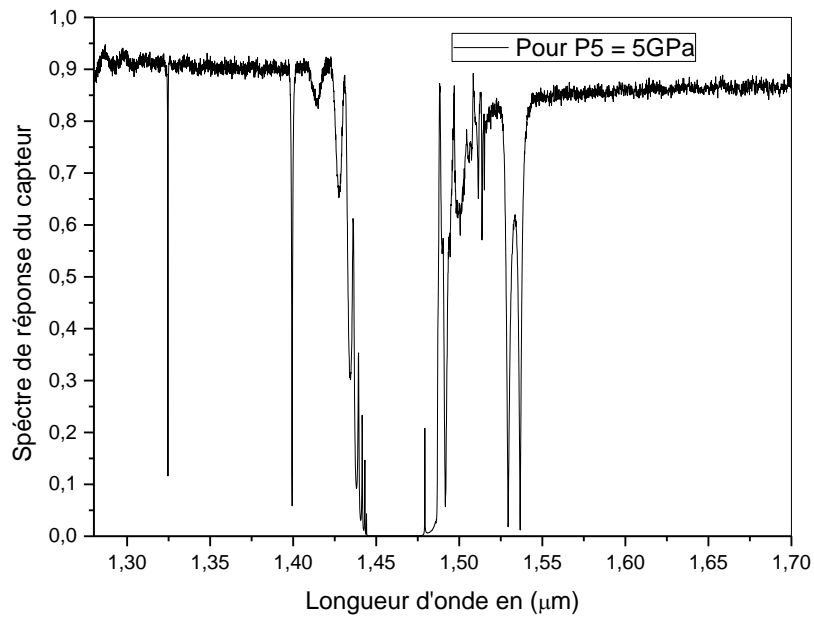
-c-



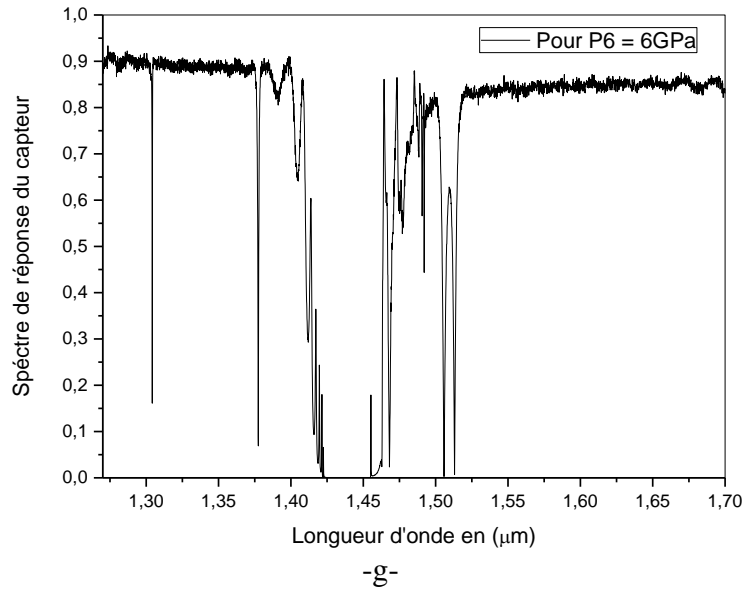
-d-



-e-



-f-



**Figure III.05** : Spectre de sortie du capteur pour les pressions appliquées  
 $P=0, 1, 2, 3, 4, 5$  et 6 Giga pascals respectivement

D'après ces courbes on constate l'existence de quatre modes préparatifs caractérisés par quatre résonances pour chacune des pressions appliquées. L'ensemble des longueurs d'ondes de résonances correspondantes à chaque pression pour les quatre modes propagatifs à partir de la gauche sur les figures précédentes sont regroupés sur le tableau III.02 suivant.

Pression (GPa)	$\lambda_{\text{résonance}}(\mu\text{m})$ du peak 1	$\lambda_{\text{résonance}}(\mu\text{m})$ du peak 2	$\lambda_{\text{résonance}}(\mu\text{m})$ du peak 3	$\lambda_{\text{résonance}}(\mu\text{m})$ du peak 4
0	1,6564	1,6488	1,5099	1,4282
1	1,6319	1,6256	1,4884	1,4071
2	1,6081	1,601	1,4657	1,3864
3	1,5841	1,5777	1,4436	1,3657
4	1,5603	1,5531	1,4214	1,3451
5	1,5367	1,5294	1,3995	1,3247
6	1,5131	1,5058	1,3775	1,3043

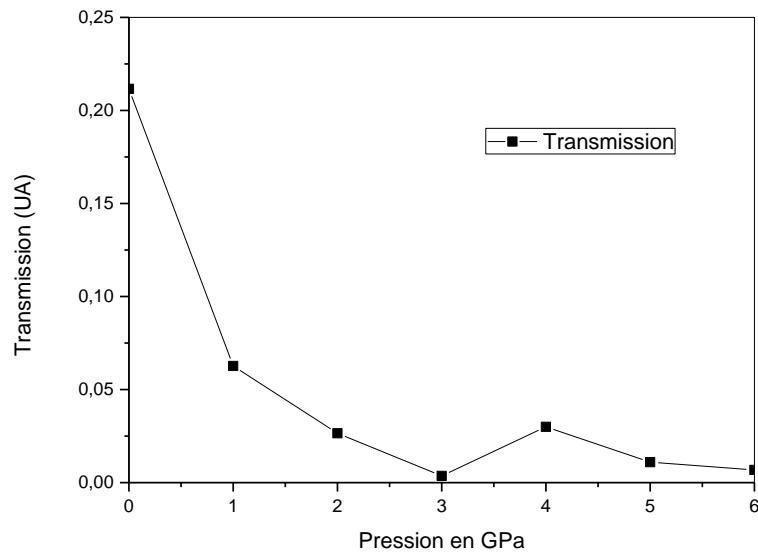
**Tableau III.02** : Longueur d'onde de résonances pour chaque pression

**III.4.1. Transmission des signaux optiques de sortie délivrés par le capteur :**

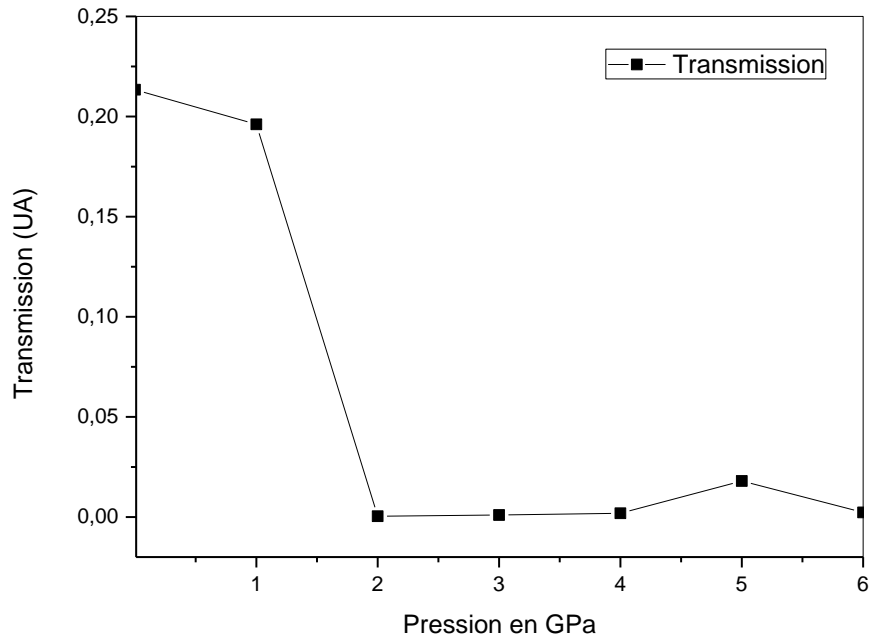
Le capteur est dotons plus parfait que la transmission des signaux collectés a sa sortie sont de plus en plus importantes. Dans notre cas, la structure que nous avons proposée délivre un spectre de sortie très important du point de vue énergie. Les transmissions obtenues pour chaque pression pour les différents modes propagatifs existant sont regroupés dans le tableau 3.3 et les courbes correspondantes sont illustrées en figure III.06.

Pression (GPa)	Transmission (UA)	Transmission (UA)	Transmission (UA)	Transmission (UA)
0	0,2116	0,2134	0,494	0,8397
1	0,0627	0,1961	0,661	0,8366
2	0,0265	4E-4	0,044	0,013
3	0,0036	1E-3	0,09	0,316
4	0,03	0,0019	0,018	0,2036
5	0,011	0,018	0,058	0,116
6	0,0068	0,0023	0,068	0,1614

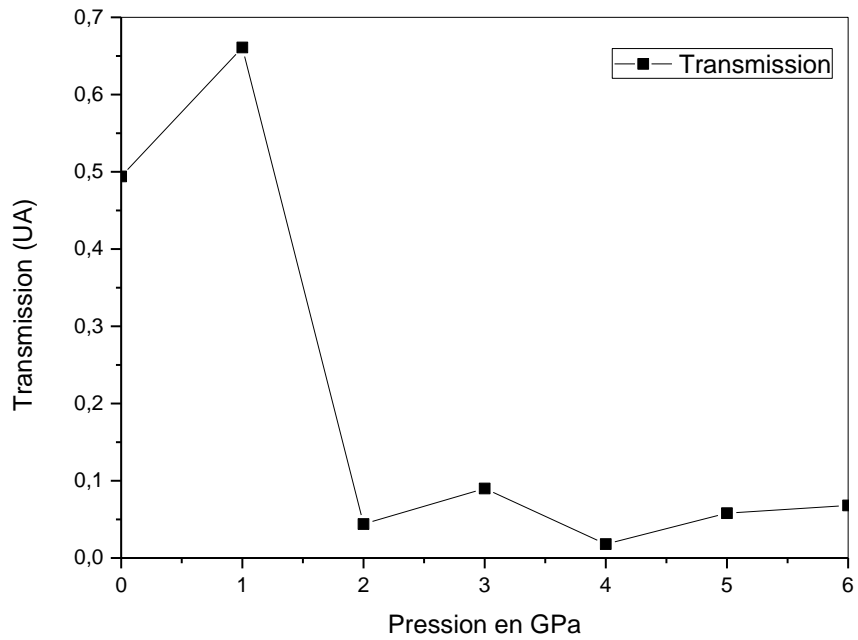
**Tableau III.03 :** Les transmissions obtenues pour les quatre cas étudiés



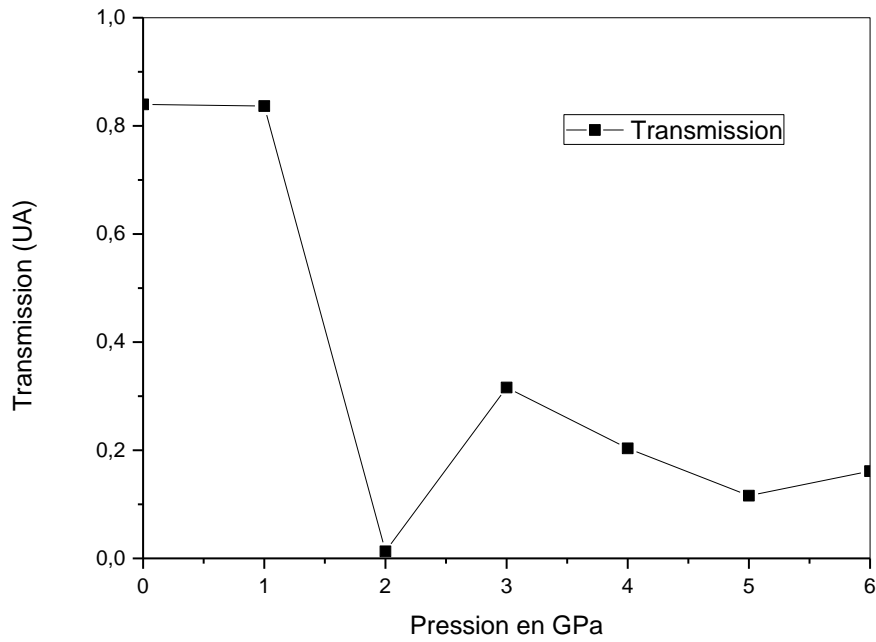
-a-



-b-



-c-



-d-

**Figure III.06 :** Transmission délivrés par le capteur en fonction de la pression

Appliquée et pour les quatre modes considérés

Il est à noter ici que les valeurs de transmissions sur le tableau 3.3 et sur les figures précédentes sont prises par rapport au début des axes de transmission et non par rapport au maximum de transmission délivré par le capteur. Cela veut dire que la plus faible valeur du tableau correspondra au signal de la cavité le plus intense et le plus puissant par conséquent.

#### III.4.2. Calcul des sensibilités du capteur :

La sensibilité peut être définie comme étant le caractère du capteur à détecter et mesurer avec précision les pressions hydrostatiques qui lui sont appliquées. Les mesures sont de plus en plus proches de la réalité, si la sensibilité du capteur est bonne et/ou excellente. D'un autre côté, le comportement quasi-linéaire du capteur engendrera une sensibilité constante, ce qui est très bénéfique du point de vue technologique. On peut dire alors que la sensibilité est un paramètre décisif quant au design des structures de capteurs. On trouve deux types de sensibilité relative aux structures à cristaux photoniques.

▪ **La sensibilité à la variation de l'indice de réfraction :**

Noté  $S_{RI}$ , cette sensibilité exprime le caractère du capteur à modifier la longueur d'onde du flux de lumière entrant à sa sortie (le décalage de la longueur d'onde de résonance) pour chaque changement d'indice de réfraction dans notre cas est conséquence de la pression hydrostatique appliqué au capteur.

Cette sensibilité est calculée à partir de la relation :

$$S_{RI} = 1000 \times \frac{\Delta\lambda}{\Delta n}, \text{ en nm/URI..... III -01}$$

De cette expression on conclut que  $S_{RI}$  est de plus en plus importante quand le décalage  $\Delta\lambda$  sera important pour les faibles changements d'indice de réfractations.

▪ **La sensibilité à la variation de pression hydrostatique :**

Noté  $S_P$ , elle est définie comme étant la capacité du capteur à modifier (à décaler) la longueur d'onde de résonance du flux de lumière entrant à sa sortie suite à l'application d'un seul facteur qui est la pression mécanique. Cette sensibilité est calculée à partir de la relation :

$$S_P = \frac{\Delta\lambda}{\Delta P} \text{..... III.02}$$

$$S_p = \frac{\Delta\lambda}{\Delta n} \times \frac{\Delta n}{\Delta P}$$

$$S_p = S_{RI} \times \frac{\Delta n}{\Delta P}, \text{ en nm/GPa..... III.03 [2]}$$

On peut dire que la sensibilité est d'autant plus élevée que le capteur présente un grand décalage  $\Delta\lambda$  pour un léger changement de pression  $\Delta P$ .

Le tableau III.04, donne les sensibilités  $S_{RI}$  et  $S_P$  calculés à partir des données du tableau III.02 et des relations données plus haut.

Pression (GPa)	Peak1		Peak2		Peak3		Peak4	
	SRI	SP	SRI	SP	SRI	SP	SRI	SP
0								
1	395,16	24,5	374,19	23,2	346,77	21,5	340,32	21,1
2	383,87	23,8	396,77	24,6	366,12	22,7	333,87	20,7
3	387,09	24	375,80	23,3	356,45	22,1	333,87	20,7
4	383,87	23,8	396,77	24,6	358,06	22,2	332,25	20,6
5	380,64	23,6	382,25	23,7	353,22	21,9	329,03	20,4
6	380,64	23,6	380,64	23,6	354,83	22	329,03	20,4

Le tableau **III.04**, donne les sensibilités  $S_{RI}$  et  $S_P$  calculés à partir des données du tableau **III.02** et des relations données plus haut.

Les sensibilités maximales atteintes pour chaque cas son donné dans le tableau **III.05** suivant.

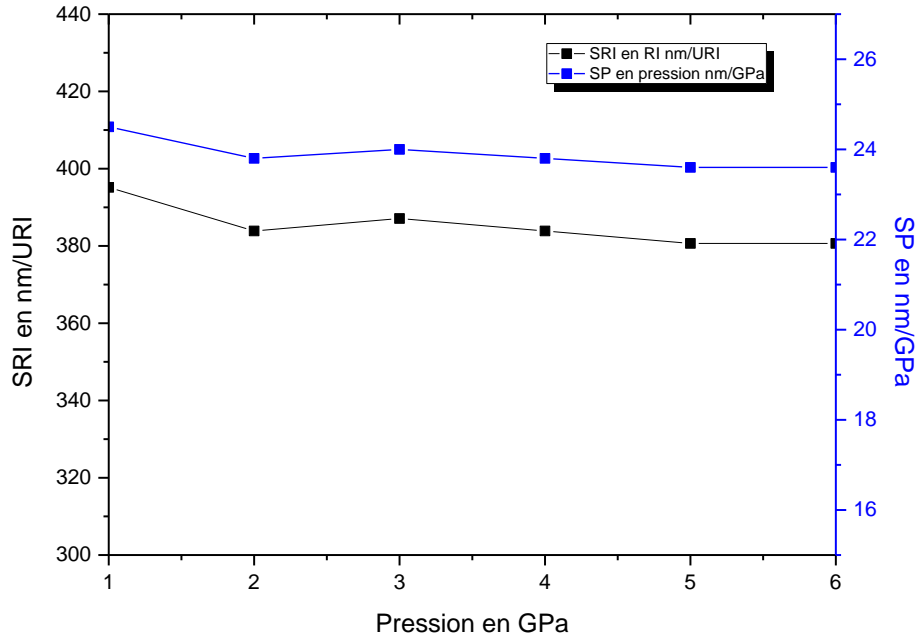
Pression (GPa)	Peak1		Peak2		Peak3		Peak4	
	SRI	SP	SRI	SP)	SRI	SP	SRI	SP
0								
1	395,16	24,5					340,32	21,1
2			396,77	24,6	366,12	22,7		

Tableau **III.05** : Les sensibilités maximales atteintes pour chaque cas par le capteur

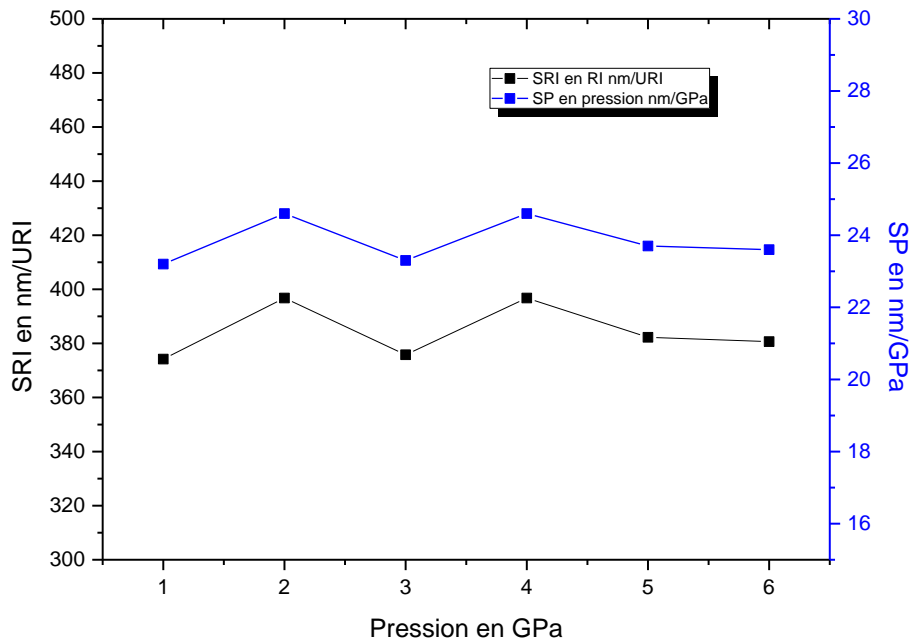
De ce tableau on constate que la structure proposée est doté d'une sensibilité maximale de 396.77 nm/URI et 24.6 nm/GPa pour la sensibilité au changement de l'indice de réfraction

SRI et à la pression SP respectivement et cela pour le premier peak qui correspond aux longueurs élevés. Aussi on peut remarquer que les sensibilités sont plus faibles pour les longueurs d'onde les moins élevés (peak 1 et 2).

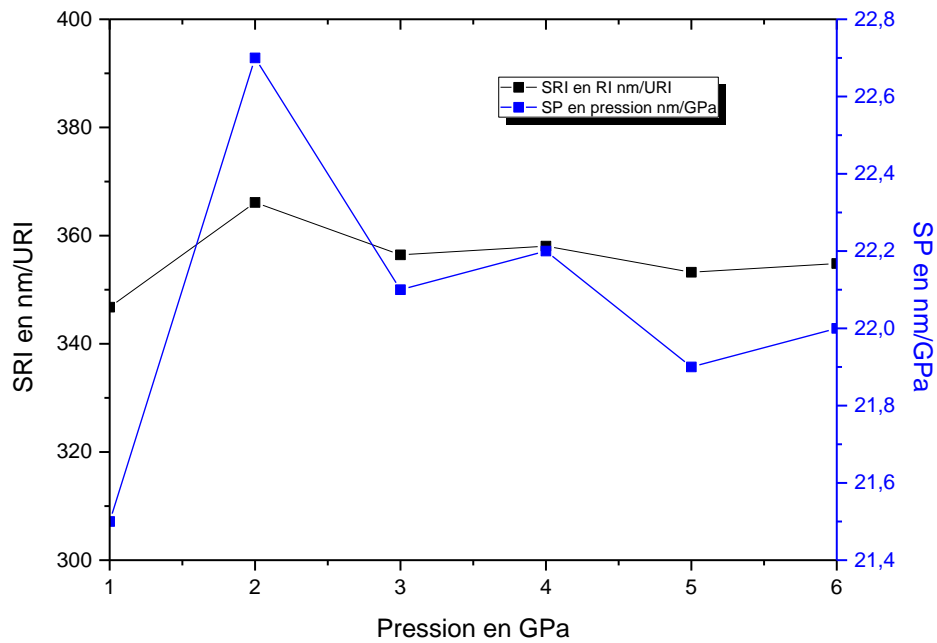
Les courbes suivantes donnent les sensibilités SRI et SP en fonction de la pression et pour les quatre modes propagatifs existant



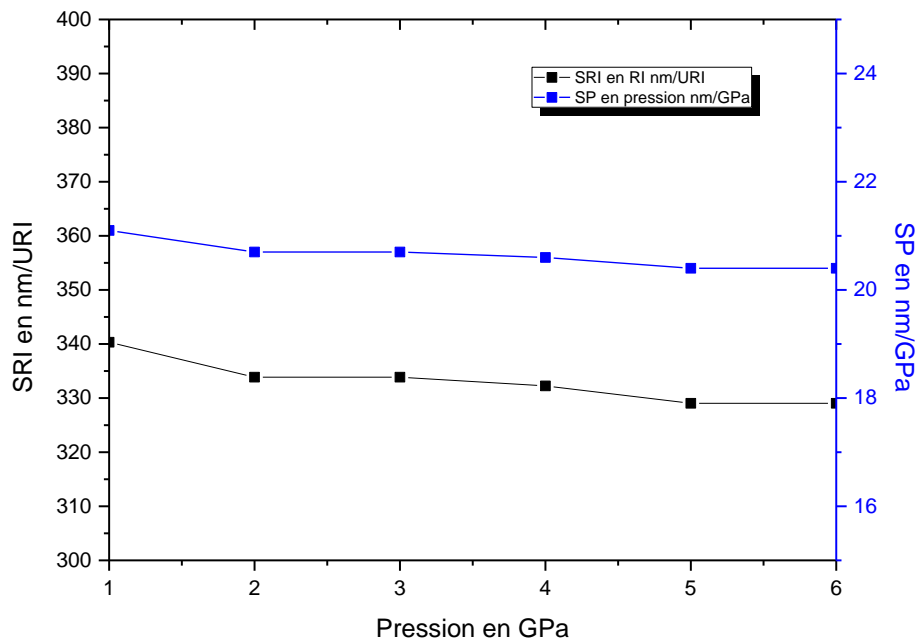
-a-



-b-



-c-



-d-

**Figure III.07:** Courbes des sensibilités SRI et SP en fonction de la pression pour les quatre modes propagatifs existant respectivement de 1 à 4.

**III .4.3. Détermination du facteur de qualité :**

Les valeurs du facteur de qualité de chaque peaken parton de gauche vers la droite du spectre de sortie du capteur sont respectivement Q1, Q2, Q3, Q4, sont regroupé dans le tableau III.05 suivant :

Préssion (GPa)	Q1	Q2	Q3	Q4
0	14193	129280	1065,1	1065,1
1	11725	144340	1065,1	999,43
2	9659,1	158270	942,76	942,76
3	8025,7	169940	472,61	896,9
4	6823,2	178000	863,26	863,26
5	6009,2	181150	842,14	842,16
6	5490,3	178110	832,42	832,42

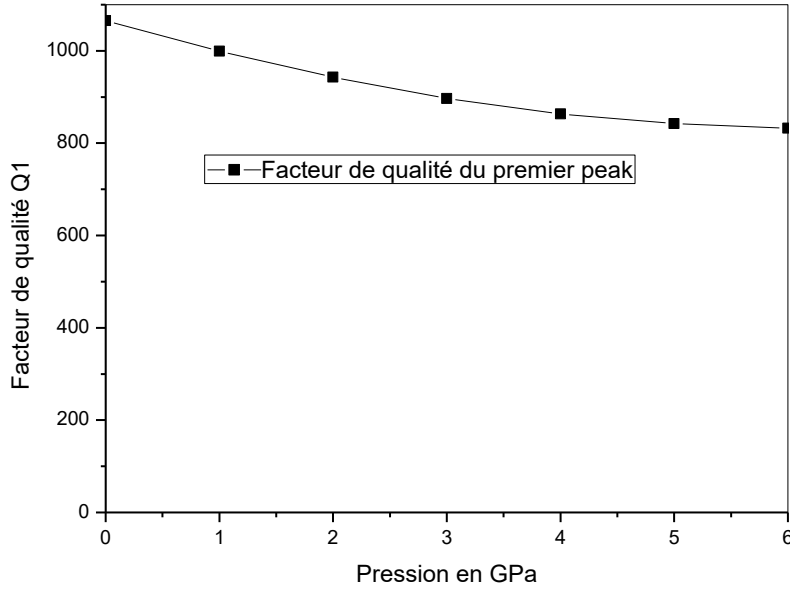
**Tableau III.06** : Les valeurs de Q obtenue pour les quatre modes propagatifs existant en fonction de la pression.

Et le tableau suivant donne les valeurs de Q maximale obtenue pour les quatre cas précédents.

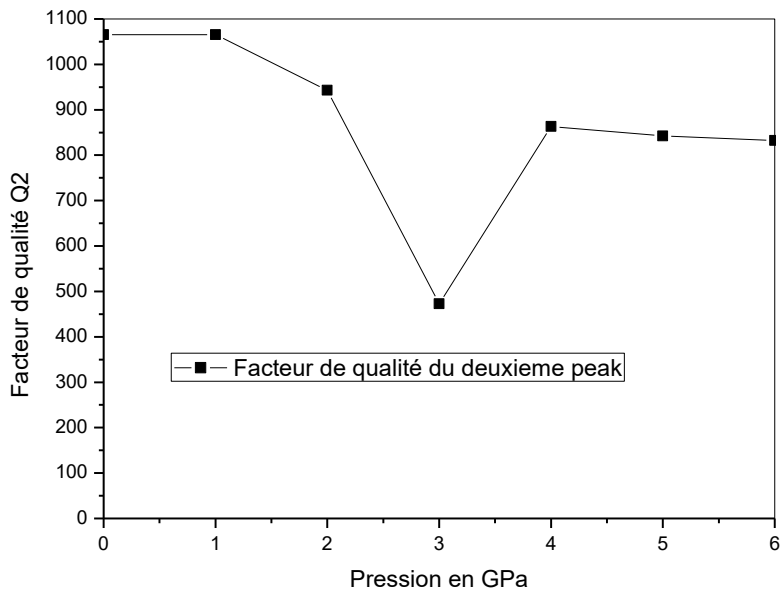
Préssion (GPa)	Q4	Q3	Q2	Q1
0	1065,1	1065,1		14193
1		1065,1		
5			181150	

**Tableau III.07** : Les valeurs de Q maximale obtenue pour les quatre modes propagatifs existant en fonction de la pression.

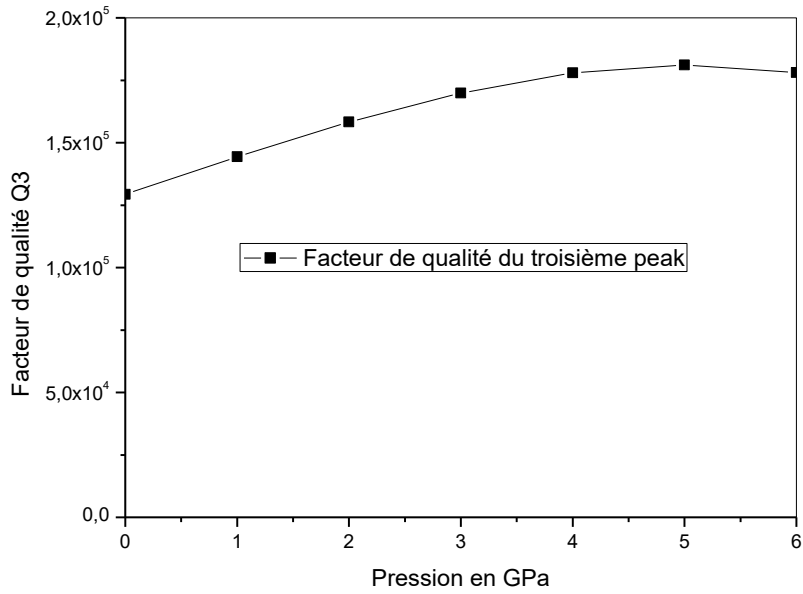
Les valeurs du facteur de qualités obtenue et regroupés dans le tableau 3.5 sont illustrées sur les figures suivantes, ou chaque figure correspond à un mode de propagation séparé.



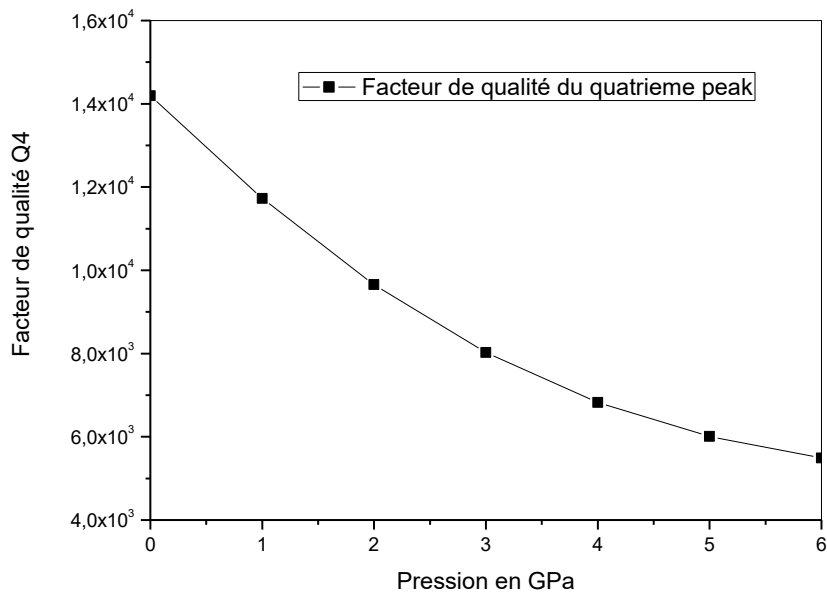
-a-



-b-



-c-



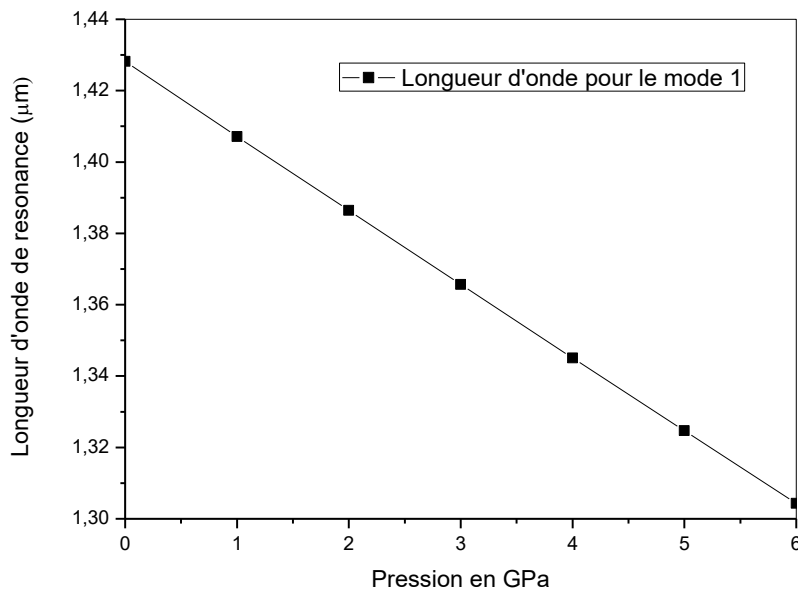
-d-

**Figure III.08** : Facteur de qualités correspondant à chaque mode de propagation isolé respectivement du mode 1 au mode 4 .

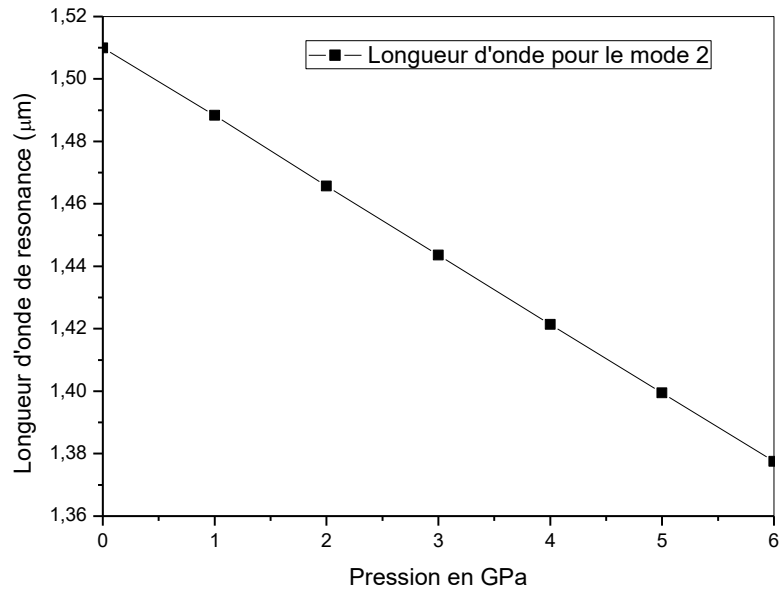
D'après le tableau III.07, on remarque que le mode 1 présente le meilleur facteur de qualité pour une pression de nulle c a dire quand le capteur est au repos, alors que pour le mode 2, les valeurs de Q sont excellente ( $129280 \leq Q \leq 181150$ ) pour toutes les pressions appliquée. Pour les autres cas on peut dire que le facteur de qualité est très bon sauf pour le cas du mode 3 ou il atteint une valeur minimale de 472.61.

#### III.4.5. Linéarité du capteur :

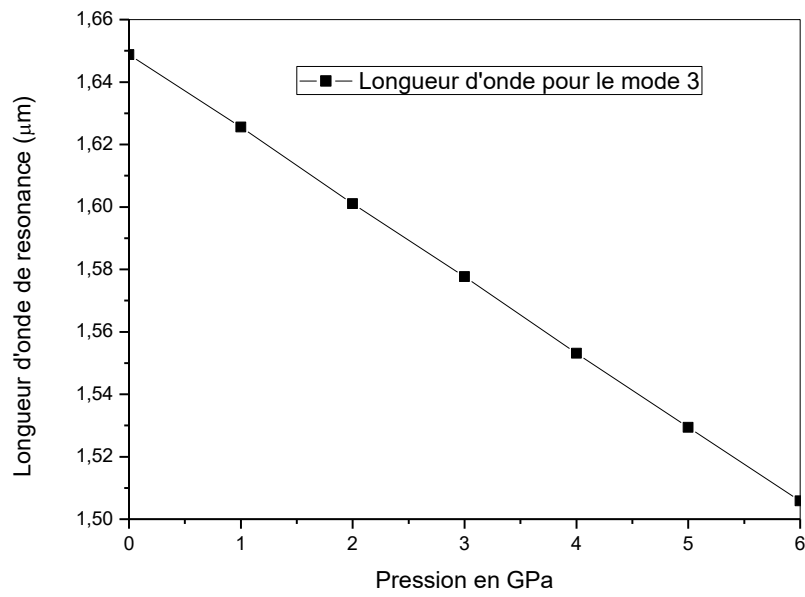
La fonction de transfert du capteur exprime son caractère à transmettre la puissance d'entrée vers la sortie. Ce transfert est d'autant plus simple et efficace que la fonction de transfert est linéaire. Dans notre cas, pour connaitre la nature de transfert d'énergie on doit tracer la réponse du capteur matérialisé par sa longueur d'onde de résonance en fonction de la pression. Le tableau 3.2 donné plus haut regroupe les résultats obtenus lors de nos simulations. Les courbes correspondantes à ces longueurs d'ondes de résonances sont données sur la figure 3.7 suivante.



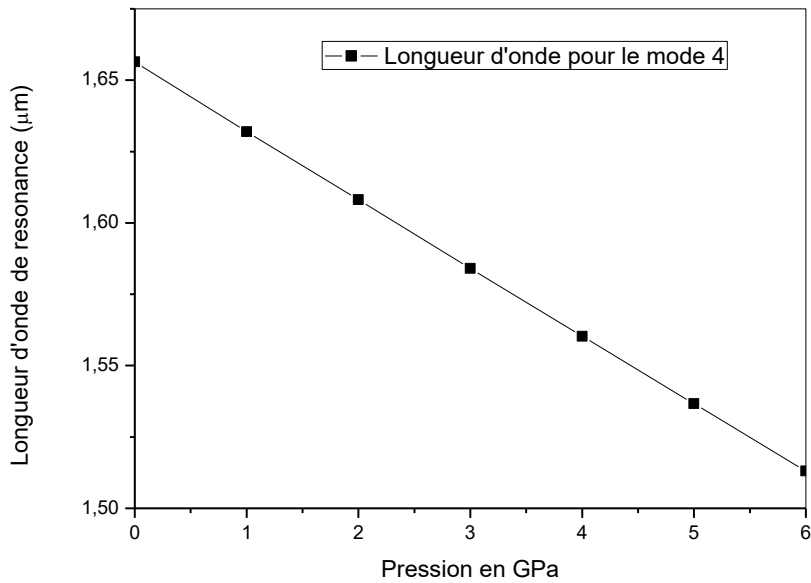
-a-



-b-



-c-



-d-

**Figure III.09** : Trace de la longueur de résonance en fonction de la pression pour les 4 mode propagatifs respectivement 1,2,3 et 4.

De ces figures on constate que le capteur est strictement linéaire pour tous les modes obtenus et plus particulièrement pour le mode ayant la plus haute sensibilité ç-a- dire le mode 4. Cela est très bénéfique car il facilite la prédiction de la réponse du capteur pour toutes les pressions appliquées.

### III.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé une structure de capteur de pression très simple à base de l'InAs. Cette structure est dotée de microcavité sensible formé par deux microcavité du type H<sub>1</sub> réalisées symétriquement et en tête à tête. Pour cette structure, nous avons constaté qu'elle a pu fournir une sensibilité RI de **396,77 nm/URI**, ce qui la rend, un bon support pour la réalisation d'un capteur de pression. En effet avec ce design, nous avons réalisé un capteur de pression de sensibilité de **24.6 nm/GPa**. Cette sensibilité est très importante et présente une valeur très compétitive.

Pour ce qui est des transmissions délivrés par notre structure, ces dernières sont en général très importantes puisque les valeurs obtenues sont très bonnes sauf pour des cas isolés et il en de même pour les valeurs du facteur de qualité.

**Bibliographie**

- [1] M.S. Al-Assiri, N. Bouarissa, Electronic band structure and derived properties of AlAs<sub>x</sub>Sb<sub>1-x</sub> alloys, *Superlatt. Microstruct.* 59 (2013) 144–154.
- [2] T. Zouache, A. Hocini, A. Harhouz, R. Mokhtari, Design of pressure sensor based on two-dimensional photonic crystal. *Acta Phys. Pol. A* 131 (2017) 68–70

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale :

Ce travail avait comme but de concevoir un capteur de pression à cristaux photonique à base du semi-conducteur InAs et d'étudier ses performances et ses caractéristiques fonctionnelle telque sa sensibilité, l'énergie du signal qu'il délivre à sa sortie ainsi que les facteurs de qualités des pics de résonances qu'il fournit. Pour aboutir à ce but, nous avons tout d'abord abordés les caractéristiques générales des capteurs et en particulier des capteurs de pressions, puis nous abordés la notion de cristaux photoniques ainsi que leurs domaines d'applications dans la détection de différentes grandeurs physiques, chimiques, biologiques...,etc.

En suite et en second lieu, nous avons proposé un design que nous avons caractérisé à la suite dans le but de définir ses propres caractéristiques ainsi que son comportement quand il est soumis à l'influence d'une pression hydrostatique.

Les simulations que nous avons effectués sur ce design (grâce au logiciels RSoft) visant à définir ses propriétés importantes et en particulier sa sensibilité, ont montré que :

La structure que nous avons proposée est constituée de microcavités sensibles formée par deux microcavités du type  $H_1$  réalisées symétriquement et en tête à tête. Grâce à cette structure très simple on a pu avoir une sensibilité RI de **396,77 nm/URI** et une sensibilité en pression de **24.6 nm/GPa**. Cette sensibilité est très bonne et présente une valeur très compétitive, ce qui la rend notre structure un bon support pour la réalisation d'un capteur de pression.

Pour les transmissions délivrées par notre structure, ces dernières sont en général très importantes puisque les valeurs obtenues sont très bonnes sauf pour des cas isolés.

Maintenant ce qui est des facteurs de qualités, les valeurs que nous avons obtenus sont très importantes et très satisfaisante en générale '(sauf pour des cas isolés) puisque nous avons atteint des valeurs de l'ordre de  $10^5$ .

## **Résumé :**

Les cristaux photoniques (CPs) sont des nanostructures de matériaux dans lesquels on a créé une alternance périodique des indices de réfraction. Suivant le type de structuration, on distingue des CPs unidimensionnels, bidimensionnels, et même tridimensionnels.

Par le choix du bon de son matériau de base, de ses caractéristiques constitutionnelles et en fin muni d'une bonne microcavité pour assurer le piégeage de la lumière, une structure à cristaux photonique peut devenir un capteur doté d'excellentes caractéristiques de détection. En effet de nos jours ces nanostructures sont à la base d'une grande variété de capteurs destinés à la détection de presque tous les phénomènes naturels connus. Notre travail entre dans ce cadre.

En effet, le but de notre travail est de concevoir un capteur de pression à cristaux photoniques utilisant le semi-conducteur InAs comme matériaux de base et muni de deux microcavités  $H_1$  simplifiées symétriquement en tête à tête pour mesurer les pressions hydrostatiques situées entre 0 GPa et 6 GPa.

## **Mots clés :**

Cristaux photoniques 2D, InAs, indice de réfraction, microcavité  $H_1$ , sensibilité à l'indice de réfraction, sensibilité à la pression, facteur de qualité.

## **Summary:**

Photonic crystals (PCs) are nanostructures of materials in which a periodic alternation of refractive indices has been created. Depending on the type of structuring, we distinguish one-dimensional, two-dimensional, and even three-dimensional CPs.

By the right choice of its base material, its constitutional characteristics and finally equipped with a good micro cavity to ensure light trapping, a photonic crystal structure can become a sensor with excellent detection characteristics. Indeed nowadays these nanostructures are the basis of a wide variety of sensors intended for the detection of almost all known natural phenomena. Our work falls within this framework.

Indeed, the aim of our work is to design a photonic crystal pressure sensor using the InAs semiconductor as base materials and realized with a two symmetric H<sub>1</sub> microcavities to measure the hydrostatic pressure between 0GPa and 6GPa.

## **Keywords:**

2D photonic crystals, InAs, refractive index, micro cavity, refractive index sensitivity, pressure sensitivity, quality factor.

## ملخص:

البلورات الضوئية أجهزة الكمبيوتر هي هياكل ثنائية من المواد التي يتم فيها إنشاء تناوب دوري. أحادية البعد وثنائية الأبعاد (CPs) لمؤشرات الانكسار، اعتمادا على نوع الهيكلية، تتميز من خلال الاختيار الصحيح للمادة الأساسية، وخصائصها الدستورية، ومجهزة أخيرا بتجويف دقيق جيد لضمان محاصرة الضوء، يمكن ان تصبح البنية البلورية الضوئية مستشعرا بخصائص اكتشاف ممتازة. في الواقع هذه البنى الثنائية في الوقت الحاضر هي أساس مجموعة واسعة من أجهزة الاستشعار المعدة للكشف عن جميع الظواهر الطبيعية المعروفة تقريبا. يدخل عملنا في هذا الإطار في الواقع، الهدف من عملنا هو تصميم مستشعر ضغط بلوري ضوئي باستخدام أشباه النواقل من نوع InAs لقياس الضغط الهيدروستاتيكيين 0 و 6 جيجا باسكال بحساس دقيق و بسيط يستخدم مستشعران من نوع HI. متناظران رأسيا.

## الكلمات الدالة:

بلورات ضوئية ثنائية الأبعاد, InAs, معامل الانكسار، تمستشعر دقيق، حساسية الضغط, معامل الانكسار، معامل الجودة